**Министерство обороны Российской Федерации**

Федеральное государственное казенное военное образовательное учреждение
высшего образования «Военная орденов Жукова и Ленина краснознаменная академия связи
имени Маршала Советского Союза С.М. Буденного
(ФГКВОУВО «ВАС» им. С.М. Буденного)

На правах рукописи

**ОСТРОУМОВ ОЛЕГ АЛЕКСАНДРОВИЧ**

# МЕТОДЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩИХ СИСТЕМ АЭРОГЕОФИЗИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Специальность: 2.2.11 – Информационно-измерительные и управляющие системы

Диссертация на соискание ученой степени
доктора технических наук

Научный консультант
доктор технических наук, доцент
Лепешкин Олег Михайлович

Санкт-Петербург – 2026

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ ..... 5
1. НАЗНАЧЕНИЕ И ОСОБЕННОСТИ РАЗВИТИЯ ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩИХ СИСТЕМ АЭРОГЕОФИЗИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ. НОРМАТИВНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УСТОЙЧИВОГО ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ОБЪЕКТОВ КРИТИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ ..... 16
1.1 Информационно-управляющие системы аэрогеофизического назначения ..... 18
1.2 Основные подходы к организации работ аэрогеофизического назначения ..... 22
1.3 Обоснование выбора авиационного носителя для проведения работ АН ..... 23
1.4 Обоснование отнесения ИУС АН к объектам КИИ ..... 27
1.5 Нормативная база обеспечения безопасного и устойчивого функционирования объектов критической информационной инфраструктуры ..... 28
1.6 Требования, предъявляемые к современным объектам критической информационной инфраструктуры ..... 36
1.7 Понятие критичности, критичность элементов системы, критичность процесса функционирования ..... 38
1.8 Выводы по Главе 1 ..... 45

2. АНАЛИЗ РАЗВИТИЯ И НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ УПРАВЛЕНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ УСТОЙЧИВОСТЬЮ ИУС АН ..... 47
2.1 Развитие процессного подхода в управлении системами. Рискоориентированое управление ..... 55
2.2 Развитие систем управления. Автоматизация процесса управления ..... 64
2.3 Ресурс системы и управление им ..... 79
2.3.1 Основы управления человеческими ресурсами ..... 82
2.3.2 Основы управления техническими ресурсами ..... 86
2.4 Контроль, как инструмент реализации обратной связи в процессе управления ..... 92
2.5 Дестабилизирующие факторы, влияющие на процесс функционирования ОКИИ ... 100
2.6. Трансформация понятий надежность, живучесть, безопасность, помехоустойчивость, киберустойчивость, автономность и непрерывность в функциональную устойчивость .....110
2.7 Постановка проблемы обеспечения функциональной устойчивости ИУС АН, как объекта критической информационной инфраструктуры ..... 119
2.8 Выводы по Главе 2 ..... 124

3. КОНЦЕПЦИЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩЕЙ СИСТЕМЫ АЭРОГЕОФИЗИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ ..... 126
3.1 Анализ подходов к описанию процесса функционирования ИУС АН, как объектов критической информационной инфраструктуры ..... 126
3.2 Понятие риска. Теория управления риском ..... 136
3.3 Концепция обеспечения функциональной устойчивости ИУС АН ..... 146
3.4 Концептуальная модель процесса функционирования ИУС АН на основе процессного подхода ..... 176
3.5 Структурно-функциональная модель ИУС АН, как объекта КИИ ..... 195
3.6 Вывод по Главе 3 ..... 222

4. ПОДХОД К ОПИСАНИЮ ПРОЦЕССА ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ИУС НА ОСНОВЕ ПРОФИЛЯ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ ..... 224
4.1 Метод построения профиля функционирования ИУС ..... 225
4.1.1 Методика построения одиночного профиля функционирования системы ..... 242
4.1.2 Методика построения группового профиля функционирования системы ..... 249
4.1.3 Методика согласования элементов профиля функционирования системы ..... 255
4.2 Понятие конфликта в процессе функционирования объектов критической информационной инфраструктуры на основе профиля функционирования системы. Классы конфликтов ..... 265
4.3 Выводы по Главе 4 ..... 271

5. МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ И ОЦЕНКИ КРИТИЧНОСТИ ИУС АН ..... 272
5.1 Методика категорирования ИУС АН, как объекта КИИ ..... 277
5.2 Ранжирование элементов ИУС АН ..... 285
5.3 Определения статической критичности элементов ИУС АН ..... 291
5.4 Определения динамической критичности элементов ИУС АН ..... 295
5.5 Определения общей критичности элементов ИУС ..... 297
5.6 Вывод по Главе 5 ..... 297

6. МЕТОД ОБЕСПЕЧЕНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ИУС АН..... 300
6.1 Анализ подходов к контролю, мониторингу и оценке процесса функционирования сложных технических систем ..... 300
6.2 Концептуальная модель контроля процесса функционирования ИУС АН ..... 304

6.3 Модель контроля процесса функционирования ИУС АН ..... 311
6.4 Методика выявления конфликтов в процессе функционирования ИУС на основе профиля функционирования ..... 323
6.5 Методика обеспечения функциональной устойчивости ..... 326
6.6 Вывод по Главе 6 ..... 351

7. ТЕХНОЛОГИИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ИУС АН НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРОФИЛЯ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ И ЕГО ПРЕДИКТИВНОГО КОНТРОЛЯ ..... 354
7.1 Подход к устранению (уходу от) конфликтов, возникающих в процессе функционирования информационно-управляющей системы, на основе профиля функционирования ..... 354
7.2 Формирование сценариев действий лиц, принимающих решение, для обеспечения функциональной устойчивости ИУС АН ..... 359
7.3 Способ проектирования и построения функциональной устойчивой системы ..... 369
7.4 Способ обеспечения устойчивого функционирования аппаратно-программных объектов ИУС АН ..... 383
7.5 Устройство автоматизированного управления процессом проектирования и функционирования ИУС АН ..... 394
7.6 Способ автоматизированного управления процессом проектирования и функционирования ИУС ..... 400
7.7 Способ обеспечения устойчивого функционирования сложной технической системы ..... 416
7.8 Система контроля процесса функционирования ИУС АН ..... 425
7.9 Способ контроля процесса функционирования ИУС ..... 431
7.10 Способ мониторинга состояния ИУС АН ..... 446
7.11 Программный комплекс обеспечения функциональной устойчивости объектов ИУС АН 453
7.12 Оптимизация выбора ресурсного обеспечения для выполнения элементов профиля функционирования системы ..... 457
7.13 Вывод по Главе 7 ..... 475
ЗАКЛЮЧЕНИЕ ..... 477
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ ..... 481
ПИЛОЖЕНИЕ .....523

# ВВЕДЕНИЕ

**Актуальность темы исследования.** Вектор развития современной России направлен на новые технологий, работизацию, цифровизацию экономики, импортозамещение в высокотехнологичных отраслях, технологическое лидерство, в том числе, за счет повышения эффективности функционирования информационно-измерительных, информационно-управляющих систем, средств автоматизации, автономных и беспилотных систем в различных областях экономики. Наряду с этим совершенствование и повышение эффективности функционирования таких систем связано с усложнением конструкции их составных частей, количества элементов систем, увеличением значимости и опасности последствий нарушения функционирования систем и их элементов. Все это определяет необходимость получения достоверной информации о состоянии системы и ее элементов в любой момент времени.

Этим вопросам уделяется большое внимание, трансформация современной экономики, создание цифрового общества, внедрение автоматизированных, автономных, роботизированных и беспилотных комплексов и систем невозможно без создания современной информационной и управляющей инфраструктуры, что подтверждается нормативными документами государства, принятых на уровне Президента, Правительства и министерств. В исполнение указа Президента Российской Федерации от 7 мая 2024 года № 309 «О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года и на перспективу до 2036 года» был разработан национальный проект «Экономика данных и цифровая трансформация государства» в состав которого входят федеральные проекты «Инфраструктура кибербезопасности», «Цифровое государственное управление», тесно связанные с Федеральным законом от 26.07.2017 года № 187-ФЗ «О безопасности критической информационной инфраструктуры Российской Федерации», направлены на создание функционально устойчивой и безопасной инфраструктуры.

События последнего десятилетия показали преимущества использования беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) в различных отраслях экономики, а также последствия для объектов инфраструктуры при их применении противникам. В 2024 году запущен национальный проект «Беспилотные авиационные системы» направленный на развитие отрасли создания БПЛА и их совершенствования. С 2025 по 2030 годы реализуется национальный проект «Средства производства и автоматизации» направленный на достижение технологического суверенитета России и внедрение роботизированных комплексов, систем автоматизации на производства.

Указом Президента РФ от 18 июля 2024 года № 529 определен перечень приоритетных направлений научно-технологического развития страны, таких как «Безопасность получения, хранения и передачи информации», «Интеллектуальные транспортные и телекоммуникационные системы, включая автономные транспортные средства», включающие критические технологии транспортные технологии для различных сфер применения (море, земля, воздух), в том числе беспилотных и автономных систем, мониторинг и прогнозирование состояния окружающей среды и изменения климата, технологий снижения и предупреждения рисков чрезвычайных ситуаций.

Исследование, контроль и мониторинг состояния внешней среды и самой системы являются неотъемлемыми элементами процесса функционирования информационно-управляющих систем, при этом нарастающее использование в различных сферах экономики государства для контроля за внешней средой получили БПЛА. Наличие и их исправное состояние позволяют в своевременно, комплексно в режиме реального времени получать достоверную информацию при поиске ископаемых, животных, растений, экологического мониторинга и т.д., в том числе, в сложных климатических условиях, труднодоступных районах.

Информационно-управляющие системы (ИУС) аэрогеофизического назначения включают подсистему сбора и обработки информации, включающую БПЛА, размещенные на автономной транспортной платформе, реконфигурируемой в зависимости от задач системы, подсистема навигации и позиционирования, подсистема хранения данных (базы данных, базы знаний, сервера хранения данных), подсистема человеко-машинного взаимодействия, подсистема обмена данными, включающая аппаратуру приема/передачи телеметрической и сигнальной информации, программное обеспечение функционирования системы, дополнительное оборудование обеспечивающее функционирование системы.

Областями применения информационно-управляющих систем аэрогеофизического назначения являются магниторазведка, гамма-спектрометрия, геохимические методы (газовые и аэрозольные сьемки), тепловая разведка, инфракрасная разведка, аэроэлектромагнитные методы, аэрогравиметрия и другие [1].

Подверженность информационно-управляющих систем действию различных дестабилизирующих факторов может привести к получению неточных и несвоевременных данных об изменении окружающей обстановки, климата в отдельных регионах, структуры поверхности земли, что может приводить к возникновению чрезвычайных ситуаций и привести к тяжелым последствиям и гибели людей. ИУС выступают в качестве объектов критической информационной инфраструктуры (ОКИИ), нарушение функционирования

которых может привести к тяжёлым последствиям, что требует обеспечения устойчивого функционирования таких систем.

Статистика воздействия на объекты инфраструктуры государства показывает, что их количество с каждым годом растет. По данным центра мониторинга и реагирования на кибератаки RED Security SOC в 2024 году количество киберинцидентов в России увеличилось по сравнению с 2023 годом в 205 раза, при этом 2/3 пришлось на объекты КИИ [2]. Количество кибератак на объекты инфраструктуры за первую половину 2025 года увеличилось по сравнению с 2024 годом на 27%. В 2025 году число воздействий на ОКИИ увеличилось в 4 раза, по сравнению с 2024 годом. По данным Совета Безопасности РФ около 66% воздействий в первой половине 2025 года было направлено на ОКИИ [3]. По результатам аналитических отчетов центра исследования киберугроз «Ростелеком-Солар» о хрониках целевых кибератак в первом полугодии 2025 года [4] длительность атак возросла, что говорит о систематическом и целевом воздействии на объекты промышленности, наиболее подверженными воздействию отраслями промышленности в 2025 году стали госсектор, телекоммуникационные сети, промышленность, в том числе объекты ВПК, IT-компании.

Для повышения эффективности их функционирования и обеспечения устойчивого функционирования приоритетное значение приобретает внедрение в ИУС современных систем контроля и мониторинга процесса функционирования ИУС, включающих прогнозирование состояния системы и ее элементов, алгоритмы действий в различных ситуациях, формируемые в процессе решения задач системы, реализации управляющих воздействий на систему в режиме реального времени.

Согласно данным ФСТЭК РФ количество объектов КИИ в РФ уже превысило отметку в 50 тысяч, что говорит о важности проблемы обеспечения устойчивого и безопасного функционирования таких объектов.

Расширение функциональных возможностей ИУС в условиях воздействия дестабилизирующих факторов за счет появления новых функций системы, увеличения количества элементов системы, появление новых связей с другими системами и объектами предъявляет новые требования по функциональной устойчивости системы, наличия информации в режиме реального времени о состоянии системы, ее элементов, внутренних и внешних связей.

Актуальность предлагаемого исследования определяется необходимостью разрешения существующих противоречий между потребностями в обеспечении устойчивого выполнения функций ИУС, как объектов КИИ, эффективного противодействия такой системы воздействию различных дестабилизирующих факторов,

учета состояния системы, ее элементов, внутренних и внешних связей системы в режиме реального времени, сложностью современных технических систем, обусловленных ее размерами, выполняемыми функциями и задачами, увеличением их количества, а также большим пространственным разносом ее элементов, и отсутствием методического аппарата обеспечения функциональной устойчивости ИУС без снижения качества аэрогеофизических исследований, что позволит системе выполнять весь перечень своих функций и задач в условиях существующего методического аппарата, позволяющего только обнаруживать факты воздействия на систему и нарушения ее функционирования, а не упреждать возникновение таких ситуаций, в которых системы не способна выполнить целевое предназначение.

Динамичность развития и усложнение систем, ужесточение требований к обеспечению безопасности и устойчивости функционирования объектов информационной инфраструктуры, а также обозначенные противоречия являются источником **научной проблемы** исследования, связанной с отсутствием методического аппарата оценки и обеспечения функциональной устойчивости ИУС аэрогеофизического назначения в условиях изменяющейся обстановки и воздействия дестабилизирующих факторов.

В данных условиях требуется принципиально новый подход к обеспечению функциональной устойчивости ИУС, что требует разработки моделей, методик и методов, позволяющих не только оценивать состояния системы и ее элементов, но и определять критические узлы системы, прогнозировать изменение состояния системы и ее элементов.. Состояние и тенденции развития рассматриваемой предметной области актуализируют проведение научного исследования по данному вопросу.

Степень проработанности темы исследования определяется результатами следующих исследований:

Исследованию сложных информационных структур посвящены работы авторов Р.С. Барышева, В.А. Грищук, А.И. Кузнецовой, А. Барабаши, Б. Боэма, К. Кернса, Г.В. Анцева, В.А. Липатникова, Н.В. Хованова, П.В. Филиппова, Р.М. Юсупова, А.Л. Ронжина, S. Jalaliniya, F. Fakhredin, T. Ross и др.

Вопросами исследования различных видов инфраструктуры, принципами ее функционирования занимались Е.В. Хечиев, А.Е. Ланцов, R. Jochimsen, E. Gramlich, H. Masuda, Y. Uchida T. Kokawa, M. Ryu, R. Baldwin, J. Dixon, A. Gonzalez, M. Schorr, B. Valdez and A.Mungaray и др.

Вопросами управления, в том числе безопасностью, занимались П.Д. Зегжды, Г.Е. Веселова, А.К. Шилова, Н.Г. Милославской, М.Ю. Сенаторова, А.И. Толстой, А.А. Замулы, А.В. Царегородцева, П.В. Плетнева, Т.Р. Кашаева, Авад Маркад, Y.Y. Haimes, P. Jiang, D.

Shin, H. Zhang и др. Т. ДеМарко, М. Круи, К. Кернсом, В.Я. Онищенко, В.Н. Фунтовым, Н.Н. Вершининым и др. велись работы по повышению качества информационного обмена данными в аэрогеофизической области.

Совершенствованием теории повышения эффективности управленческой деятельности на основе процессного подхода занимались: Б. Андерсен [5], М. Робсон, Ф. Уллах [6], М. Хаммер, Д. Чампи [7], Е.Деминг [8] и другие; отечественные специалисты в этой области: В.В. Ефимов [9], Репин В.В., В.Г.Елиферов [10], А.Качалов [11, 12], В.Ф.Корольков [13], В.В.Окрепилов [14], М.Г.Таратута [15] и другие.

Развитие концепции системотехники (управления сложными социотехническими системами) изложено в трудах Г.Х. Гуда, Р.Э. Макола [16], Б.А. Резникова, В.Н.Калинина [17, 18], А.В.Ильичева [19, 20], Ю.Г.Ростовцева [21], В.Г. Бурлова [22], Лепешкина О.М. [23].

В работах J. L. Castro, S.M. Sepasgozar, F.S. Roberts, N.A. Jones, М. Стембергера, А.А. Попович, В.В. Баранова, Е.Н. Тищенко, Н.П. Садовниковой, Ю.Ю. Громова и др. разработаны методологические подходы к моделированию систем и технологий.

Описанию сложных информационных систем посвящены работы N.A. Jones, H. Ross, T. Lynam, P. Perez, A. Leitch, R. Jochimsen, J.-E. Sturm, J. McKay, P. Marshall, А.Е. Колоденковой, Е.А. Халикова, В.В. Коробкина, П.Ивановой, Т. Тагарева, А.С. Можаева и др.

Вопросами прогнозирования состояния сложных систем и принятия решения при его изменении занимались R. Axelrod, F.S. Roberts, D. Canning, E. Gramlich, William A. Niskanen, J.L. Salmeron, C.D. Stylios, Y.Y. Haimes, P. Jiang, S. Shirowzhan, Ф. Брукса, А.Н. Печникова, А.П. Блинова, А.Я. Подкользина, С.П. Ксенза, О.С. Лаута, М.А. Гудков, А.Н. Целых, Л.А. Целых, Е.С. Абрамов, В.В. Борисов, В.В. Круглов, А.С. Федулов, Д.А. Коростелев, Д.Г. Лагерев, А.Г. Подвесовский, В.И. Максимов и др.

Работы И.М. Ажмухамедова, А.В. Кубарева, А. П. Лапсаря, А. Тевикян, S. Bologna, G.Di Costanzo, E. Luiijf, R. Setola, M.H.A. Klaver, H.A.M. Luiijf, A.H. Nieuwenhuijs, F. Cavenne, A. Ulisse, G. Bridegeman и др. Л. В. Массель посвящены вопросам определения критических объектов инфраструктуры.

Надежностью занимались Рябинин И.А., Берг А.И., Бруевич Н.Г., Сифоров В.И., Гнеденко Б.В., Ушаков И.А., Грабовецкий В.П., Хетагуров Я.А. и др.

Вопросам изучения и повышения живучести сложных систем занимались Иванов В.Г. [24], Филин Б.П. [25], Дудник Б.Я., Овчаренко В.Ф. [26], Гречишников Е.В. [27], Рябинин И.А. и другие.

Структурная устойчивость сложных систем рассматривалась в работах Исакова Е.Е.

[28], Попков В.К. [29], Привалова А.А. [30], Громова Ю.Ю., Bartol N., Jansen W. и других.

Функциональной устойчивостью (ФУ) систем занимались Машков О.А. [31], Стародубцев Ю.И., Иванов С.А. [32], Макаренко С.И. [33], Буренин А.Н., Легков К.Е. [34], Лаута О.С., Саенко И.Б., Котенко И.В. [35], I. Linkov [36], Тарасов А.А., М.В. Буйневич, К.Е. Израилов, Ganin A., Bodeau D. и другие.

Несмотря на достаточно проработанные вопросы моделирования систем, обеспечения их устойчивости, прогнозирования состояния вопросы обеспечения функциональной устойчивости объектов КИИ в режиме реального времени в полной мере учеными-исследователями не проработаны. Так не затрагиваются вопросы повышения эффективности функционирования системы за счет обеспечения функциональной устойчивости процесса функционирования ИУС аэрогеофизического направления, прогнозирования процесса выполнения целевого предназначения системы и его элементов в условиях воздействия различных дестабилизирующих факторов. Не учитывалось влияние внутренних и внешних связей на процесс функционирования ИУС, а также последствий воздействия на систему дестабилизирующих факторов (ДФ).

**Объект исследования** – информационно-управляющая система аэрогеофизического назначения.

**Предмет исследования** – научно-методическое обеспечение функциональной устойчивости информационно-управляющей системы аэрогеофизического назначения.

**Цель работы:** повышение функциональной устойчивости ИУС АН при проведении комплексных аэрогеофизических исследований.

**Научная проблема** – разработка научно-методического аппарата обеспечения ФУ ИУС АН при проведении комплексных аэрогеофизических исследований на основе использования процессного подхода, функциональной формализации системы, закона сохранения целостности, позволяющих выявлять конфликты в ней, обусловленные нарушением ее устойчивого функционирования, а также критические задачи, функции, цели, что позволит проводить синтез системы на основе результатов предиктивного контроля процесса функционирования ИУС АН в режиме времени близком к реальному для расширения ее функциональных возможностей.

Для достижения цели необходимо решение следующих задач, определяющих структуру работы:

1) Проанализировать состояние и развитие автоматизации ИУС аэрогеофизического назначения. Роль и место ИУС в выполнение задач аэрогеофизического назначения.

2) Разработать теоритические основы функциональной устойчивости ИУС аэрогеофизического назначения.

3) Разработать методологию обеспечения функциональной устойчивости ИУС аэрогеофизического назначения.

4) Разработать модель формализации ИУС аэрогеофизического назначения.

5) Разработать модель формализации процесса функционирования ИУС аэрогеофизического назначения.

6) Разработать методический аппарат оценки критичности элементов ИУС аэрогеофизического назначения.

7) Разработать методический аппарат обеспечения функциональной устойчивости ИУС аэрогеофизического назначения.

8) Разработать предложения по проектированию и построению ИУС аэрогеофизического назначения и обеспечения ее функциональной устойчивости.

Для решения задач исследования были установлены следующие ограничения:

ИУС представляет собой совокупность ограниченного количества взаимосвязанных элементов, расположенных на ограниченной территории, позволяющих выполнить ограниченное количество задач;

результаты измерений параметров системы и ее элементов имеются и находятся в базе данных характеристик системы, которая постоянно пополняется в зависимости от состояния системы, ее целевого предназначения в любой момент времени, обеспечения системы контроля и потребностей ЛПР;

в рамках исследования не оценивается характер дестабилизирующих факторов, вероятность воздействия и т.д., а исследуются последствия воздействия, а также анализируется возможность снижения пагубных последствий еще не оказанного воздействия;

рассматриваются только те воздействия дестабилизирующих факторов, которые влияют на процесс функционирования системы и ее элементов;

цикл управления ИУС в обязательном порядке включает сбор данных, анализ данных, контроль системы, воздействие на систему

**Научные результаты, выносимые на защиту:**

1. Концепция обеспечения функциональной устойчивости ИУС АН.

2. Структурно-функциональная модель процесса функционирования ИУС АН.

3. Метод построения профиля функционирования и профиля процесса функционирования ИУС АН.

4. Метод определения и оценки критичности элементов ИУС АН.

5. Метод обеспечения функциональной устойчивости ИУС АН.

6. Технологии обеспечения функциональной устойчивости ИУС АН на основе

использования профиля функционирования и его предиктивного контроля.

**Методологические основы решения проблемы.** Теория управления рисками, теория устойчивости, теория множеств, теория графов, теория систем и системный анализ, теория вероятностей, теория принятия решения, теория матриц, теория оптимизации, теория моделирования, закон сохранения целостности, процессный подход, метод согласования иерархических решений, функциональный анализ.

**Научная новизна** работы состоит в том, что:

по-новому произведена формализация процесса функционирования ИУС, заключающаяся в построении профиля процесса функционирования системы на основе ее целевого предназначения;

по-новому приведена математическая формализация целевого предназначения ИУС на основе функционального синтеза;

но-новому производится прогнозирование состояния ИУС и ее элементов на основе профиля функционирования системы;

по-новому осуществляется оценка критичности ИУС и ее элементов и выявление таких элементов с использованием профиля функционирования системы;

предложен оригинальный подход обеспечения функциональной устойчивости ИУС на основе выявления и прогнозирования возникновения конфликтов в системе.

**Научная новизна подтверждается:**

новым методом определения статической и динамической критичности ИУС и ее элементов на основании профиля функционирования системы;

новыми оригинальными аналитическими и математическими методами формализации ИУС в виде профиля функционирования и профиля процесса функционирования системы;

новым методом обеспечения функциональной устойчивости ИУС в условиях изменяющейся обстановки и времени близком к реальному;

использованием предиктивного контроля состояния ИУС на основе выявления конфликтов в процессе функционирования системы;

использованием достижений фундаментальных наук, строгим математическим доказательством полученных результатов.

Научная новизна обосновывается решением сформулированной проблемы исследования на основе разработанной методологии обеспечения функциональной устойчивости ИУС аэрогеофизического назначения.

**Теоретическая значимость** научных положений, изложенных в работе, состоит в следующем.

1) Расширена теория функциональной устойчивости ИУС, через набор ее базовых элементов (аксиом, определений, свойств и теорем).

2) Установление динамического свойства критичности ИУС для систем аэрогеофизического назначения.

3) Расширение класса методов формализации сложных технических систем, оценки критичности ИУС, а также обеспечения функциональной устойчивости систем.

4) Определение состояний конфликта профиля функционирования ИУС.

5) Упрощение процедуры обработки данных контроля и мониторинга состояния ИУС.

6) Учет рисков возникновения конфликтов профиля функционирования системы в процессе ее функционирования.

7) Расширение возможностей выявления критических элементов ИУС с использованием профиля функционирования системы.

**Практическая значимость** результатов проведенных исследований заключается в:

1) Разработке нового инструмента контроля процесса функционирования ИУС – профиля функционирования системы.

2) Автоматизации контроля процесса функционирования ИУС.

3) Снижении затрат на ремонт и восстановление ИУС за счет прогнозирования и предотвращения возникновения конфликтов профиля функционирования системы.

4) Разработке системы контроля процесса функционирования ИУС на основе профиля функционирования системы.

5) Разработке устройства, автоматизированного управления процессом проектирования и построения ИУС аэрогеофизического назначения.

6) Разработанные на основе соответствующих моделей методы позволяют своевременно выявлять и прогнозировать появление критических элементов системы, конфликтов профиля функционирования системы.

7) Разработанные на основе соответствующих моделей методы позволяют формировать сценарии действий при возникновении конфликтов в системе, появлении критических элементов.

8) Предлагаемые модели и методы позволили выработать концепцию обеспечения функциональной устойчивости ИУС аэрогеофизического назначения на основе синтеза.

9) Предлагаемые модели и методы позволяют лицам, принимающим решение (ЛПР), выработать замыслы планов действий для выполнения целевого предназначения системы и принятия решения в условиях меняющейся обстановки.

10) Предлагаемые модели и методы позволяют разрабатывать системы поддержки принятия решений для выполнения целевого предназначения системы.

11) Предлагаемые способы позволяют повышать оперативность реакции системы на изменение обстановки.

**Обоснованность и достоверность** научных результатов определяется:

обеспечивается корректностью постановки научной проблемы исследования, частных научных задач и применением апробированных математических методов их решения;

использование апробированных научных положений и методов исследования в корректном применении математического аппарата, согласованности новых результатов с известными теоретическими положениями и непротиворечивостью полученных результатов практике функционирования объектов КИИ;

общностью и полнотой полученных результаты обеспечения функциональной устойчивости ИУС, позволяющих выявлять конфликты в системе и определять критичность ее элементов в режиме реального времени;

непротиворечивостью предлагаемых решений известным результатам, полученным другими способами.

**Личный вклад автора** состоит в непосредственной разработке концепции обеспечения функциональной устойчивости ИУС на основе синтеза, структурно-функциональной модели ИУС, метода построения профиля функционирования ИУС, метода определения критичности ИУС, метода обеспечения ФУ ИУС, технологий обеспечения ФУ ИУС АН на основе использования профиля функционрования системы и предиктивного контроля его выполнения. Все научные результаты, выносимые на защиту, получены лично автором. Автор самостоятельно реализовала апробацию и публикацию научных результатов исследования.

**Апробация работы.**

Основные положения и результаты диссертации докладывались, обсуждались и получили одобрение на Всероссийской межведомственной НТК по теоретическим и прикладным проблемам развития и совершенствования АСУ и связи специального назначения «Наука и АСУ-2020» (г. Москва, Зеленоград, 2020), III Всероссийской НТК Состояние и перспективы развития современной науки по направлению «Информационная безопасность» (г. Анапа, 2021), X, XI, XII межвузовских НПК Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании (АПИНО) «Проблемы технического обеспечения войск в современных условиях» (Санкт-Петербург, 2021 – 2023), X, XI, XII Международных НТ и НМК (г. Санкт-Петербург, 2021 – 2023), XXIV, XXV, XXVI

Всероссийских НПК РАРАН «Актуальные проблемы защиты и безопасности» (г. Москва, 2021 – 2023), III Всероссийской научной конференции «FISP-2021: Фундаментальные проблемы информационной безопасности в условиях цифровой трансформации» (г. Ставрополь, 2021), XXIX, XXX Международных НПК «Проблемы управления безопасностью сложных систем (ПУБСС)» (г. Москва, 2021, 2022), XII, XIII Санкт-Петербургских межрегиональных конференциях «Информационная безопасность регионов России (ИБРР)», (г. Санкт-Петербург, 2022, 2023), НПК «Технологии. Инновации. Связь», (г. Санкт-Петербург, 2022), XI Международной НПК студентов и аспирантов «Казанские научные чтения студентов и аспирантов имени В.Г. Тимирясова», (г. Казань, 2022), НПК «Современные тенденции инженерного образования» (г.Санкт-Петербург, 2022), Всеармейской НПК «Инновационная деятельность в ВС РФ», (г.Санкт-Петербург, 2022, 2023), XVI Международной конференции «Управление развитием крупномасштабных систем (MLSD 2023)», (г.Москва, 2023), XXVII, XXVIII, XXIX, XXX Международных НТК «Радиолокация, навигация и связь» (г. Воронеж, 2021 – 2024), XIX Всероссийской научной конференции «Нейрокомпьютеры и их применение» (г. Москва, 2021 – 2024).

**Публикации.** По результатам исследования опубликовано более 100 научных трудов, из которых 4 монографии, 22 статьи в научных журналах и изданиях, рекомендованных ВАК РФ для опубликования основных результатов диссертаций на соискание ученой степени доктора наук, из них 3 в журналах, индексированных в международной базе Scopus, и нашли отражение в 7 патентах на изобретения, из них 1 на устройство и 1 на систему, 3 свидетельствах о государственной регистрации базы данных, 15 свидетельствах о государственной регистрации программы для ЭВМ, более 60 научных статьи и тезисов докладов в сборниках трудов и материалах конференций, 1 ОКР и 3 НИР.

**Реализация результатов исследования.** Научные результаты диссертационного исследования использовались при проведении научно-исследовательских работ в 27 ЦНИИ МО РФ – при решении задач обеспечения связи в воинских частях в зоне проведения СВО, в 18 ЦНИИ МО РФ – для обоснования ТТХ к перспективным средствам ВВТ, в ООО НПП «НТТ» – при совершенствовании системы управления, в НИР (шифр «Регион»), НИР (шифр «Развитие-2025»), а также в информационно-управляющих системах войсковой части 95385 и войсковой части 01022 в части развертывания, совершенствования и функционирования системы связи, для обеспечения управления подразделениями.

**Объем и структура диссертации.** Диссертация состоит из введения, семи глав, заключения, списка использованной литературы, содержащего 498 наименований.

Основной текст диссертации представлен на 522 страницах, включая 53 таблицы и 81 рисунок. Общий объем диссертационной работы составляет 544 страниц.

# ГЛАВА 1. НАЗНАЧЕНИЕ И ОСОБЕННОСТИ РАЗВИТИЯ ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩИХ СИСТЕМ АЭРОГЕОФИЗИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ. НОРМАТИВНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УСТОЙЧИВОГО ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ОБЪЕКТОВ КРИТИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ

Развитию аэрогеофизических технологий уделяется большое внимание, что привело к значительному росту их использования в различных отраслях промышленности, поиску и разведке полезных ископаемых, экологическому мониторингу территорий, обнаружению изменения ландшафта в труднодоступных районах [37]. Их развитие в последние пятнадцать лет сделало большой рывок. Основными факторами, способствовавшими активному их применению и росту эффективности аэрогеофизических работ являются [38, 39]:

внедрение последних достижениях электроники, высокоточной механики, лазерной и микропроцессорной техники в геофизическом приборостроении, что обеспечило возможность цифровой регистрации и обработки сигналов и позволило существенно увеличить помехозащищенность, чувствительность и разрешающую способность измерительных каналов [40];

развитие спутниковых навигационных систем GPS, ГЛОНАСС, БейДоу, используемых для определения местоположения объектов, мест измерения, позволило увеличить более чем на порядок точность плановой и высотной привязки результатов измерений [41];

расширение комплекса аэрогеофизических методов с включением в него таких технологий как аэрогравиметрия, новые модификации ЭМ-съемки, тепловая ИК, газовая и аэрозольная съемки, а также некоторые другие;

разработку и внедрение принципиально новых систем обработки и интерпретации геофизических данных, базирующихся на использовании современной высокопроизводительной вычислительной техники.

Развитие систем АН привело к возможности переноса части функций управления и измерения на беспилотные летательные аппараты, развитию информационно-управляющих систем АН, что способствовало существенному увеличению разрешения,

используемой аппаратуры, экономической эффективности, в том числе, с учетом преимущества аэрогеофизических методов [1, 40, 41], таких как:

высокая производительность – возможность в короткое время покрывать значительные площади работ, в том числе и в труднодоступных территориях с неразвитой инфраструктурой;

объемный характер получаемой информации, связанный с возможностью выполнения съемок на разных высотных уровнях и совместной интерпретации аэро- и наземных данных [42, 43];

возможность комплексирования методов при незначительном увеличении себестоимости работ (не более чем на 10–15% на каждый дополнительный канал);

минимальные техногенные нагрузки на природную среду в процессе выполнения работ.

К настоящему времени накоплен значительный опыт проведения мониторинга земной поверхности с использованием информационно-управляющие систем аэрогеофизического назначения (ИУС АН) [44 ].

Требования к таким системам определяются условиями их применения, в свою очередь значение таких систем с каждым годом возрастает, что обусловлено высокой конкуренцией доступа к минерально-сырьевым ресурсам, геополитической обстановкой конкуренции при разработке новых шлейфов, определяющих технологической суверенитет страны в рамках обеспечения ее безопасности. Аэрогеофизика, как высокотехнологичный метод исследования недр, становится ключевым элементом цепочки создания стоимости в ресурсной экономике.

Системный кризис, вызванный разрывом международных технологических и логистических цепочек, привел к формированию новой международной экономики и поставил вопрос перед Россией об импортозамещении и обеспечении устойчивого функционирования критически значимых отраслей экономики. В свою очередь, современные ИУС АН представляют собой сложные киберфизические комплексы, интегрированные авиационные платформы, высокоточные приборы, каналы обмена данными и значительные вычислительные мощности. Развитие ИУС АН с одной стороны повысила эффективность их использования, а с другой стороны породила новые уязвимости.

В результате таких воздействий происходит нарушение функционирования ИУС АН, что может привести к тяжелым негативным последствиям, таким как ошибочные решения в области использования недр, утраты данных, экономических и людских потерь.

Таким образом ИУС АН приобретают критически важное значение для геофизической отрасли, а развитие их и усложнение приводит к необходимости рассмотрения их как киберфизические комплексы, выступающие в качестве объектов КИИ в области экономики, экологии и промышленности.

## 1.1 Информационно-управляющие системы аэрогеофизического назначения

Эффективность выполнения задач аэрогеофизических работ зависит от множества факторов, требующих учета при формировании и принятии управленческих решений. Получение недостоверной или не полной информации в следствии ее искажения, нарушения функционирования системы и ее элементов могут привести к неправильным управленческим решениям, выбору необходимого средства выполнения требуемых работ. Все это влечет необходимость использования информационных, управляющих систем, систем контроля, мониторинга и измерений. Информация, поступающая от различных источников, выступает основой для управленческих решений.

Основной целью ИУС является организация сбора, хранения, обработки, передачи данных и предоставления информации лицам, принимающим решение, необходимой им для формирования управленческих решений. Под информационной-управляющей системой, в соответствии с международным стандартом ISA-95 (The International Standard for the Integration of Enterprise and Control Systems) [45], будем понимать совокупность компонентов, подготавливающих и предоставляющих управленческую, производственную и финансовую информацию для принятия решений.

Основными задачами ИУС АН выступают: организация взаимодействия человека с системой, формирование задания на выполнение работ, мониторинг обстановки, моделирование и построение маршрутов движения, разработка полетного задания; управление процессом выполнения аэрогеофизических работ, реализация полетного задания, управление датчиками, сенсорами, средствами ведения съемки; сбор и обработка данных и информации, выполнение калибровки аппаратуры, датчиков, сенсоров в зависимости от меняющихся условий обстановки, построение моделей, связанных с аэрогеофизическими работами; контроль технических параметров БПЛА, оборудования системы, фиксация и анализ событий в системе.

Перенасыщенность информацией, поступающей от системы, требующей дополнительной обработки человеком может приводить к эффекту «информационной

перегрузки» [46]. В результате человек не принимает никаких решений или может принять неправильное решение. Информация должна поступать в зависимости от выполняемых системой в данный момент задач, а также влияния результатов выполнения этих задач на последующие задачи. Кроме этого, должна существовать возможность получения информации по запросу и в случае нарушений функционирования системы и ее элементов.

Проведение аэрогеофизических работ связано с высокой стоимостью услуг авиации. При использовании в качестве авиационного средства БПЛА с возможностью обработки получаемой информации в ИУС значительно снижает затраты на проведение таких работ.

Структура современной ИУС АН включает воздушный и наземный сегменты.

Воздушный сегмент включает авиационную платформу, измерительные подсистемы или отдельные приборы (квантовые/оптические магнитометры, гравиметры, системы зондирования поверхности земли и др.), навигационные приборы, система связи (радиомодемы) для передачи команд управления, служебной информации и др., средства вычисления (ЭВМ, специальное ПО).

Наземный сегмент включает центр управления полетами, сервер хранения и обработки информации, сервер для осуществления вычислений, моделирования, специальное ПО, специальные программно-аппаратные средства для проведения аэрогеофизических работ и обеспечения безопасного функционирования системы.

Выбор БПЛА для проведения аэрогеофизических работ определяется, в первую очередь, внешними условиями проведения аэросъёмки и типом выполняемых им задач, определяемых характеристиками средства. К основным техническим характеристикам БПЛА можно отнести грузоподъёмность, высота, дальность, скорость полета и ведения измерений, длительность автономного полета, подверженность воздействию помех, тип канал управления и другие.

Традиционные технологии аэрогеофизического мониторинга, предъявляют дополнительные требования к оборудованию и характеристикам БПЛА.

Магниторазведка является одним из самых нетребовательных к характеристикам носителя видов геофизической съемки. Вес и габариты современных магнитометрических датчиков позволяют устанавливать их на самые легкие авиационные носители любого типа, с грузоподъемностью в единицы килограмм, даже при использовании многодатчиковых (градиентометрических) схем измерений [47].

Частота опроса у квантовых датчиков не менее 10 отсчетов в секунду, что при скорости 100 км/ч соответствует 2,8 метра пройденного пути, то есть существенно меньше, чем шаг измерений при детальных наземных съемках масштабов 1:10 000 – 1:5 000 (5 – 10

м). Высота полета также не слишком принципиальна для магнитной съемки и может составлять от первых метров до десятков – первых сотен метров [1].

Внедрение систем навигации при выполнении аэрогеофизических работ позволило добиться точности определения координат точек наблюдения в реальном масштабе времени в 10-20 м, а с использованием дифференциальной коррекции навигационных данных в режиме постобработки – менее 1 метра. Отсутствие ошибок в определении координат позволило минимизировать искажения формы измеряемых аномалий.

Единственное обязательным требованием при выполнении прецизионных съемок, где принципиальным является картирование магнитных аномалий амплитудой в десятые доли – первые единицы нанотесла, является необходимость удаления (с помощью штанг или трос-кабеля) датчиков от носителя, как источника магнитных помех [48].

В качестве носителя для выполнения аэромагнитометрической съемки возможно использование любого авиационного средства с жестким креплением датчиков к его фюзеляжу. Использование специального программного обеспечения для реализации методов компенсации магнитных помех носителя позволяет значительно повысить эффективность проводимых работ.

*Гравиразведка.* Размещение современных отечественных и зарубежных аэрогравиметрических комплексов на любых авиационных носителях легкого типа затруднено из-за их значительных массогабаритов [49].

Для повышения экономической эффективности съемок и перехода при проведении аэроработ на более легкие носители давно назрел вопрос о снижении массы аппаратурных комплексов [1, 50, 51].

В настоящее время для создания малогабаритных аэрогравиметров и гравитационных градиентометров предлагается технологии инерционной и/или спутниковой навигации INS/GNSS (ИНС/СНС). Данная технология уже тестируется в полевых условиях с использованием ААП с грузоподъемностью около 10 кг [52].

Для выполнения аэрогравиметрических работ не требуется высокая скорость авиа носителя при его минимальных рысканиях по курсу и высоте.

*Электроразведка.* Применение электроразведочного метода для аэрогеофизических работ осуществляется путем регистрации и возбуждения различными способами электромагнитного поля, а также проводимыми при этом измерениями [1, 53]. Габариты аппаратуры для проведения такого вида исследований значительны, что затрудняет их использование на легких авиа средствах. В свою очередь, уменьшение размеров и массы таких средств привод к резкому снижению качества получаемых результатов.

В настоящее время активно ведется разработка электроразведочных комплексов, использующих низкочастотные методы измерений естественных ЭМ-полей [53]. Основными сложностями для ведения исследований с использованием таких комплексов на воздушных платформах являются их значительный вес, а также влияние на них других ЭМ воздействий, что требует значительного удаления датчиков от корпуса носителя.

Электроразведка в виде комбинированных методов широко применяется в нефтегазовой отрасли. В этом случае источник возбуждения (линейный кабель или петля) расположена на поверхности земли, а приемное устройство – на авиа носителе [53], что позволяет обеспечить требуемую глубину исследований. При проведении таких работ носители должны быть высокоманевренными, иметь возможность работы на низких высотах, крепления для размещения подвесных устройств, а также небольшую скорость.

*Гамма-спектрометрия.* Аэрогамма-спектрометры представляют собой громоздкие и тяжелые аппаратные комплексы. Большой вес и габариты имеют детекторы-сцинтилляторы (обычно около 50 л, не менее 200 кг), регистрирующие спектры излучения природных и техногенных радионуклидов и являющиеся основным элементом таких комплексов [54].

Наиболее распространенными детекторами в настоящее время являются сцинтилляционные кристаллы NaI(Tl), реже CsI(Tl). Применяются также различные типы органических и неорганических сцинтилляторов и полупроводниковые детекторы. Перспективными для применения в малогабаритных спектрометрах являются полупроводниковые детекторы из особо чистого германия и кадмий–цинк–теллурида (CdZnTe), а также неорганические кристаллы BGO (ортогерманата висмута Bi4Ge3O12) [54].

Значительные габариты аппаратуры затрудняют ее использование на авиа носителях. При этом, данный вид работ проводится при движении БПЛА (аппаратуры) с малой скоростью на низкой высоте.

*Геохимическая съемка.* Современные трассовые газоанализаторы и анализаторы аэрозолей имеют небольшие габариты и могут быть размещены на легких носителях. Ореолы рассеяния в атмосферном воздухе элементов индикаторов залежей углеводородов имеют очень низкую контрастность. Что требует проведения исследований на низких высотах и при малой скорости следования носителя.

*Геоморфологические исследования.* Современные средства геоморфологических исследований представляют собой компактные комплексы, которые могут применяться на высокоскоростных авиа носителях и на различных высотах. Для проведения данного вида

исследований активно применяются лидары, использование которых, также, не предъявляет жестких требований к носителям.

## 1.2 Основные подходы к организации работ АН

Определяющими особенностями проведения работ АН, характеризующими потребность в использовании ИУС, являются назначение, сроки выполнения, объем, предполагаемые результаты проведения работ, наличие информации об объекте исследования, аппаратном, программном, техническом обеспечении работ [37].

Важное значение при выборе средств ведения исследований АН, программного обеспечения измерений является тип проводимого исследования, а также масштаб аэрогеофизической съемки. От этого будет зависеть выбор воздушной платформы для размещения оборудования.

Для исследования малоизученных районов, труднодоступных территорий, как правило, используют съемку масштаба 1:50 000, что позволяет создавать геофизические основы среднемасштабного картирования (1:200000) и решать конкретные геологические задачи [1].

Контур площади аэрогеофизических работ определяется географическими координатами углов проектируемого участка исследований. Съемка выполняется по сети прямолинейных встречно-параллельных маршрутов, которые равномерно располагаются по всей площади участка с огибанием рельефа на высоте 60-100 м [46]. Первый и последний маршрут проходят по границам участка [1].

Проведение гамма-спектрометрической и электроразведочной съемки предполагает увеличение длины маршрутов до 5%, что способствует повышению точности проводимых работ.

Построение опорной сети, магнитометрические маршруты которой ортогональны исходным маршрутам, позволяет осуществлять увязку маршрутов гамма-спектрометрической и электроразведочной съемки.

Исходя из потребностей в проведении работ АН выбирается тип авиационного носителя, которые рассмотрим ниже.

## 1.3. Обоснование выбора авиационного носителя для проведения работ аэрогеофизического назначения

Использование БПЛА для проведения различных работ в последнее время получило широкое и стремительное распространение в отечественных промышленных предприятиях и научных организациях. Кроме этого, для выполнения части функций, которые ранее были характерны для пилотируемой авиации, теперь могут выполнять БПЛА, что в последствии с развитием техники может привести к их полной замене беспилотными средствами. Потребность в большом количестве таких средств способствовало построению производственных линий на ряде российских предприятий для их производства.

Законодатель распоряжением Правительства РФ от 21 июня 2023 г. № 1630-р закрепил необходимость развития данной отрасли. Нормативным актом утверждены Стратегия развития беспилотной авиации Российской Федерации на период до 2030 года и на перспективу до 2035 года и План мероприятий по реализации Стратегии развития беспилотной авиации Российской Федерации на период до 2030 года и на перспективу до 2035 года.

Указом Президента РФ от 18.06.2024 г. № 529 интеллектуальные транспортные и телекоммуникационные системы, включая автономные транспортные средства, были определены одим из приоритетных направлений научно-технологического развития России. В перечень важных наукоемких технологий были включены транспортные технологии для различных сфер применения (море, земля, воздух), в том числе беспилотные и автономные системы, мониторинг и прогнозирование состояния окружающей среды и изменения климата (в том числе ключевых районов Мирового океана, морей России, Арктики и Антарктики), технологии предупреждения и снижения рисков чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера, негативных социально-экономических последствий, зондирования и комплексной обработки информации для беспилотных воздушных судов (в том числе технического зрения), технологии и средства связи, включая меры защиты информации.

Возможности, которые открывает использование БПЛА при проведении работ АН, способствовали тому, что развитие этого направления стало приоритетным для аэрогеофизических технологий. Возможности использования БПЛА для проведения аэрогеофизических работ напрямую зависят от технических возможностей и характеристик авиационных носителей.

Основной проблемой производства БПЛА являются ограничения по импорту комплектующих, хотя и большинство предприятий переходят на производство из

комплектующих, производимых на территории России и дружественных стран. БПЛА в России отнесены к продуктам двойного назначения, что определяет с одной стороны большую потребность государства и предприятий в такой продукции, а с другой стороны сложности в ее производстве.

Применение БПЛА при проведении работ АН позволяет повысить их эффективность за счет автоматизации процесса, снижения материальных и финансовых затрат на работы, возможности дистанционного доступа в труднодоступные территории, дистанционного сбора и обработки информации и обмена ею в режиме реального времени [54].

По данным аналитического агентства J'son & Partners Consulting рынок авиационных платформ в России оценивается в 9,5 млрд. руб, что составляет лишь 2% от общемирового рынка. При этом 85% приходится на гражданские отрасли нужды и 15% на специальные.

В 7,5 млрд. руб оценивается рынок услуг дистанционного зондирования Земли, разработка, продажа БПЛА, комплектующих и программного обеспечения в 2 млрд. руб. Потребность в оказании услуг аэрофотосъемки, мониторинга физического состояния объектов, местности с каждым годом растет и привлекает внимание крупных гигантов, таких как Газпром, Роснефть, Татнефть, Лукойл и др.

В марте 2019 г. дочернее предприятие концерна «Калашников» Zala Aero успешно испытала БПЛА собственного производства ZALA 421-16E5 с газоанализатором, что позволило выявить утечки метана на газопроводах Газпрома [55]

На зарубежном рынке производство БПЛА представлено компаниями [1]:

Da-Jiang Innovations Science and Technology Co., Ltd. (China). На долю компании приходится порядка 75% производства БПЛА в мире. Линейка продукции компании применяется в различных сферах жизни общества;

Lockheed Martin Corporation (U.S.),

AeroVironment, Inc. (U.S.),

Parrot SA (France),

SenseFly SA (U.S.),

3D Robotics, Inc. (U.S.),

Aeryon Labs Inc. (Canada).

Производством БПЛА в Росси занимается порядка 60 крупных предприятий. Большенство произведенной продукции приходится на компании Zala Aero, ООО «Беспилотные системы», ГК Геоскан. Сравнительный анализ продукции компаний представлен в таблице 1.1 [1].

Таблица 1.1 – Российские компании, разрабатывающие БПЛА

| Компания | Тип БВС | Статус | Заказчик, применение |
|---|---|---|---|
| ZALA Aero Group (также ЦСТ), Ижевск | Самолеты, мультикоптеры | Серийное | МЧС, МО, ТЭК |
| ООО "Беспилотные системы", Ижевск | Самолеты | Серийное | Аэрофотосъемка |
| ГК «Геоскан», Санкт-Петербург | Самолеты, мультикоптеры | Серийное | Аэрофотосъемка |
| ООО «Птеро», Москва | Самолеты | Серийное | Аэрофотосъемка |
| ООО «Плаз» | Самолеты | | Для топографических съемок |
| ОАО «Горизонт» | Вертолет по лицензии Schiebel | Серийное | ПСБ |
| ВР-Технологии (Вертолеты России), Россия | Вертолет, октакоптер, конвертоплан | Разработка | Для нужд Арктики, МО |
| Вертолеты России | Вертолет «Катран» | Разработка | МО |
| ООО Ижмаш, Россия | Самолеты | Серийное | МО |
| ГК Кронштадт (до 2015 года - Транзас) | Самолет большой, конвертоплан | Экспериментальные образцы | МО |
| ЗАО НПЦ Нелк, Россия | Мультикоптер на водородных элементах | Экспериментальные образцы | Для гражданских заказчиков |
| ООО "Специальный технологический центр" (СТЦ) | Самолеты | Серийное | МО, ААНИИ |
| ООО «Тайбер» | Вертолет | Экспериментальные образцы | Для гражданских заказчиков |
| ЗАО ЭНИКС | Самолеты | Серийное | МО |
| АО «НПП «Радар ММС» | Вертолеты | Экспериментальные образцы | Для гражданских задач: геологоразведка, магнитометрия, доставка груза, мониторинг |
| "Агродронгрупп" | Мультикоптеры | Разработки ПО, производство комплексов, оказание услуг | Для сельскохозяйственных работ |
| ОСКБЭС вертолеты МАИ | Вертолеты | Разработки | |
| НПП «Стрела» | Вертолеты | Разработки | |
| Аэрокон, Казань | Самолеты | Экспериментальные образцы | |
| Аэроб | Самолет большой продолжительности полета | Разработки | |
| Аэроксо (Aeroxo) | Конвертоплан | Разработки - стартап | |

По типу носителя БПЛА разделяются на самолетного, вертолетного типа, мультикоптеры и конвертопланы, преимущества и недостатки, которых представлены в таблице 2 [1].

Таблица 1.2 – Преимущества и недостатки разных типов БПЛА

| Тип БВС | Достоинства | Недостатки |
|---|---|---|
| Самолет | Большой радиус действия<br>Большая продолжительность полета | Маломаневренный по сравнению вертикальным взлетом (VTOL)<br>Горизонтальный старт (взлет) |
| Конвертоплан | Сочетание фиксированного крыла и VTOL | Технологически сложный<br>Дорогостоящий |
| Вертолет | Схема вертикального взлёта и посадки (VTOL)<br>Хорошая маневренность<br>Большая грузоподъемность перевозимой полезной нагрузки | Высокие требования к обслуживанию<br>Дорогостоящий |
| Мультикоптер | Низкая стоимость<br>Легкость запуска<br>Малый вес | Малый радиус действия<br>Ограниченная полезная нагрузка по весу<br>Низкая сопротивляемость ветру |

Большинство представленных на рынке БПЛА относится к самолетному и коптерному типам. БПЛА вертолетного типа из сложной конструкции не нашли широкого применения.

В зависимости от массы перевозимого груза БПЛА делят на: легчайшие (1-3 кг), легкие (10-20 кг), средние (50-100 кг), тяжелые (0,5-5 т). С уменьшением массогабаритов аппаратуры, используемой для проведения работ потребность в тяжелых БПЛА может пропасть.

В средней весовой категории наиболее удобными для проведения аэрографических работ могут выступать БПЛА вертолетного типа и конвертопланы. В легкой и легчайше категориях преимущественно используются БПЛА самолетного и коптерного типа, при этом наиболее удобными являются коптеры с вертикальным взлетом. Размеры таких БПЛА позволяют их использовать для широкого класса задач в различных условиях местности, что особенно актуально для Сибири, Арктической зоны, Восточных регионов страны. При этом, малая стоимость не приведет к существенным затратам при их потере.

Совершенствование БПЛА направлено на достижение высокой скорости, маневренности, увеличении длительности и дальности полета, снижения массогабаритов носителя и увеличения массы перевозимого груза, экономии расхода энергии, возможности осуществления взлета и посадки с необорудованных площадок, а также наличия режима зависания [1].

Непосредственное влияние на развитие БПЛА имеет совершенствование аппаратуры и средств, которые устанавливаются на летательные платформы (сенсоры, датчики, средства измерения, контроля, мониторинга, средства фиксации и т.п.). Применение малоразмерных высоко технологических приборов (гироскопы, акселерометры, фото и видео камеры, инфракрасные датчики, радиолокационные

передатчики и т.д.) существенно расширяет сферы применения БПЛА, создает спрос на них.

Облегчение веса БПЛА осуществляется за счет использования высокотехнологичных углеродистых и полимерных материалов.

Увеличение энергоэффективности БПЛА позволяет увеличить дальность полета, для чего используют корпусные солнечные батареи, водородные топливные элементы, аэрогелевые батареи и другое.

Для сохранения физической целостности БПЛА ведутся работы по упрочнению их корпуса, а также созданию и совершенствованию системы уклонения и маневрирования в полете, что позволит избежать столкновений с препятствиями, повысит чувствительность средств управления и реакции на их воздействие. В первую очередь основано на совершенствовании датчиков.

## 1.4. Обоснование отнесения ИУС АН к объектам критической информационной инфраструктуры

Правовой основой регулирования отношений в области обеспечения безопасности и устойчивости функционирования объектов критической информационной инфраструктуры (ОКИИ) является Федеральный закон от 26.07.2017 № 187-ФЗ «О безопасности критической информационной инфраструктуры Российской Федерации» (далее – 187-ФЗ). Согласно ст. 2 Закона, объект КИИ – это информационная система, информационно-телекоммуникационная сеть или автоматизированная система управления (АСУ) субъекта КИИ, поэтому ИУС могут рассматриваться в качестве ОКИИ. Критерием отнесения к ОКИИ является значимость такого объекта для отраслей экономики, нарушение безопасности которых ведет к негативным социальным, политическим, экономическим последствиям. Крупными эксплуатирующими предприятиями, в своем составе имеющим ИУС являются:

1. Росгеология с дочерними предприятиями Южморгеология, Сибгеофизика, которые активно развивают Единую цифровую платформу Росгео;

2. Газпром, развивающими мощную корпоративную ИУС – Единая информационная система управления;

3. Лукойл, имеющая комплекс Цифрового геологического моделирования;

4. Роснефть, активно развивающая системы Цифровое месторождение и Единую аналитическую платформу;

5. Геотех и другие.

Для топливно-энергетического комплекса нарушение функционирования ИУС может привести к срыву работ или фальсификации данных по поиску и разведке месторождений нефти, газа, угля и т.д., что может привести к ошибочным инвестициям, потере рынка сбыта, потере месторождений ископаемых.

При проведении строительных работ в транспортной сфере компрометация данных, получение недостоверных данных аэрогеофизических работ может привести к экологическим и экономическим убыткам, невозможности проведения работ.

Аварии на гамма-спектрометров, используемых для ведения аэрогеофизических работ из-за нарушений функционирования ИУС могут привести к экологическим, экономическим, людским потерям.

Таким образом ИУС АН крупных компаний, проводящих геофизические работы (разведка стратегического сырья), могут быть отнесены к ОКИИ, что накладывает определенные требования на такие объекты и субъекты КИИ.

## 1.5. Нормативная база обеспечения безопасного и устойчивого функционирования объектов критической информационной инфраструктуры

Вопросам обеспечения безопасности критически важных объектов стали уделять много внимания, после совершения компьютерной атаки компьютеры сотрудников и на турбины атомной электростанции в 2010 году в Иране. Вирус (червь) Stuxnet способствовал тому, что руководство большинства стран спешно стало прорабатывать вопрос обеспечения безопасности объектов, воздействие на которые может привести к тяжелым последствиям. Это был первый известный вирус, перехватывающий и модифицирующий информационные потоки между логическими контролерами и рабочими станциями. Впервые он физически разрушал инфраструктуру.

В 2016 году с целью получения выкупа с различных компаний массово был применен шифровальщик Petya. Заражение происходило при открытии файла с вирусом, который был получен по сети или при переходе по ссылке. Программа шифровала данные на компьютере и требовала выкуп за расшифровку. В 2017 году Erebus, Nayana, WannaCry, NotPetya распространялись через спам, локальные сети, почту и другими способами. Нанесенный ущерб оценивался в сумму около 20 млрд. долл. Аналогичные атаки происходят по всему миру и постоянно. Нанесение финансовых убытков существенно, однако проведение атак может привести и к человеческим жертвам. В 2021 году в США в городе Олдмар хакеры проникли в систему очистки воды, увеличив предельную

концентрацию веществ в 100 раз, что могло привести к гибели 15 тыс. чел. В данном случае система безопасности успела среагировать на инцидент. К еще большим негативным последствиям могла привести атака на американского производителя ядерного оружия в 2021 году.

Проведение кибератак началось не в 2010 году, а существенно раньше. В 1982 году группа хакеров установила троян в систему контроля функционирования сибирского нефтепровода, что привело к взрыву. В 1992 году уволенный из компании Шевроле сотрудник взломал компьютеры, перенастроив систему предупреждения на аварию.

В 1997 году хакеры проникли в систему управления воздушным пространством в Вустере США и вызвали отключение на 6 часов телефонной связи.

В 1999 году троян внедренный в систему безопасности Газпрома позволил управлять подачей газа. Аналогичное воздействие было произведено в 2001 году на газоперерабатывающий завод в США, что вызвало отключение подачи газа для получателей.

Последствием атаки на нефтяную компанию PDVSA (Венесуэла) явилось существенное сокращение добычи нефти с 3 млн. до 370 тыс. баррелей/сутки.

В 2008 году подросток взломал трамвайную сеть польского города Лодзь, в результате чего 4 трамвая сошли с путей, а 12 человек получили травмы.

Рассматривая возросшее количество кибератак на инфраструктуру государства и частные компании возникает вопрос, почему соответствующие органы не приняли мер к обеспечению безопасности важной инфраструктуры государства. Меры принимались и принимаются. Последние десятилетие существенное развитие получили проработки вопросов обеспечения безопасности ОКИИ. Нормативными документами РФ введены новые понятия и определен порядок обеспечения безопасности объектов КИИ. Нормативная база обеспечения безопасности КИИ РФ включает следующие документы в государстве:

Конституция РФ;

Федеральные законы;

Постановления правительства РФ;

Указы Президента РФ;

Концептуальные документы государства: стратегии, концепции, политика;

Приказы министерств и ведомств РФ, реализующие свою деятельность в рамках исполнения законодательства РФ по вопросам обеспечения безопасности КИИ РФ;

Общегосударственные стандарты;

Приказы министерств, ведомств, документы других организаций, являющихся

субъектами КИИ и реализующие свою деятельность в области обеспечения безопасности КИИ, принадлежащей им.

Федеральным законом от 27.07.2006 N 149-ФЗ «Об информации, информационных технологиях и о защите информации» регулируются отношения, в том числе, в области обеспечения защиты информации, информационных технологий, информационных систем и информационно-телекоммуникационных сетей. Последние две относятся к объектам КИИ. В соответствии со статьей 16 обладатель информации, оператор информационных системы должны обеспечивать недопущение воздействия на технические средства обработки информации, в результате которого нарушается их функционирование, а также постоянный контроль за обеспечение уровня защищенности информации.

В Федеральном законе от 21.12.1994 N 68-ФЗ «О защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера» в 2015 году вводятся понятия критически важного объекта (КВО) и потенциально опасного объекта (ПОО).

Критически важный объект - это объект, нарушение или прекращение функционирования, которого приведет к потере управления экономикой Российской Федерации, субъекта Российской Федерации или административно-территориальной единицы субъекта Российской Федерации, ее необратимому негативному изменению (разрушению) либо существенному снижению безопасности жизнедеятельности населения.

Потенциально опасный объект - это объект, на котором расположены здания и сооружения повышенного уровня ответственности, либо объект, на котором возможно одновременное пребывание более пяти тысяч человек.

Здесь же с 2006 года определяется необходимость создания и порядок функционирования единой государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций. Автоматизированная информационно-управляющая система которой введена в эксплуатацию Постановлением правительства от 24 января 2024 года № 57 в 2024 году.

Критичность инфраструктуры здесь определяется через влияние нарушения функционирования КВО, при воздействии природных и техногенных факторов, на экономику РФ и ее население. Закон МЧС стал прообразом 187-ФЗ.

В документе Совета Безопасности утвержденного Президентом Российской Федерации 3 февраля 2012 г. № 803 «Основные направления государственной политики в области обеспечения безопасности автоматизированных систем управления производственными и технологическими процессами критически важных объектов инфраструктуры Российской Федерации» определяются основные направления на снижение до минимально возможного уровня рисков неконтролируемого вмешательства в

процессы функционирования систем управления, а также минимизация негативных последствий подобного вмешательства. Документ разрабатывался в рамках реализации основных положений Стратегии национальной безопасности Российской Федерации до 2020 года, где одним из путей предотвращения угроз информационной безопасности является совершенствование безопасности функционирования информационных и телекоммуникационных систем критически важных объектов инфраструктуры и объектов повышенной опасности в Российской Федерации. Здесь приводится понятие КВО и КИИ.

КИИ РФ - совокупность автоматизированных систем управления КВО и обеспечивающих их взаимодействие информационно-телекоммуникационных сетей, предназначенных для решения задач государственного управления, обеспечения обороноспособности, безопасности и правопорядка, нарушение (или прекращение) функционирования которых может стать причиной наступления тяжких последствий.

Указом Президента РФ от 15.01.2013 № 31с «О создании государственной системы обнаружения, предупреждения и ликвидации последствий компьютерных атак на информационные ресурсы Российской Федерации» создана такая система, определены ее задачи.

Целью государственной политики в области обеспечения безопасности автоматизированных систем управления производственными и технологическими процессами критически важных объектов инфраструктуры Российской Федерации является снижение до минимально возможного уровня рисков неконтролируемого вмешательства в процессы функционирования данных систем, а также минимизация негативных последствий подобного вмешательства.

В настоящее время осуществляется комплекс мероприятий по поддержанию организационной, экономической, научно-технической и технологической готовности Российской Федерации к предотвращению угроз безопасности ее КИИ.

Результатом деятельности органов государственной власти в области обеспечения безопасности КВО и их инфраструктуры явился 187-ФЗ, вступивший в силу с января 2018 года, который является основным нормативным документом в области обеспечения безопасности ОКИИ.

Понятийный аппарат безопасности КИИ раскрывается в ст. 2. Уточняется понятие КИИ, введенное в «Основные направления государственной политики в области обеспечения безопасности автоматизированных систем управления...». Определен перечень объектов и субъектов КИИ, принципы и цели политики в области обеспечения безопасности КИИ.

Определяются структура и задачи Государственной система обнаружения, предупреждения и ликвидации последствий компьютерных атак на информационные ресурсы РФ, состав ее сил, средств, предназначение.

В законе определены полномочия президента, органов государственной власти, права и обязанности субъектов КИИ по реализации ФЗ.

Вводится понятие категорирования объектов КИИ, исходя из их значимости в социальной, политической, экологической, экономической сферах общества, а также для обороны, безопасности и правопорядка в государстве, и определен его порядок. Категорирование осуществляется по трем категориям значимости. Объекты КИИ, имеющие значимость, вносятся в реестр значимых объектов КИИ.

Представлены порядок проведения оценки безопасности КИИ, порядок осуществления государственного контроля по соблюдению норм законодательства в области обеспечения безопасности КИИ, а также ответственность за его нарушение.

В соответствии с законом подразделения и должностные лица ФСБ занимаются обеспечением функционирования ГосСОПКА, а ФСТЭК - вопросами обеспечения безопасности КИИ РФ.

Указ Президента РФ «Перечень сведений, отнесенных к государственной тайне» от 30 ноября 1995 г. № 1203;

Указ Президента РФ «Вопросы Федеральной службы по техническому и экспортному контролю» от 16 августа 2004 г. № 1085;

Указ Президента РФ «О мерах по обеспечению информационной безопасности Российской Федерации при использовании информационно-телекоммуникационных сетей международного информационного обмена» от 17 марта 2008 г. №351;

Указ Президента РФ «Доктрина информационной безопасности Российской Федерации» от 5 декабря 2016 г. № 646;

Указ Президента РФ «О совершенствовании государственной системы обнаружения, предупреждения и ликвидации последствий компьютерных атак на информационные ресурсы Российской Федерации» от 22 декабря 2017 г. №620;

В приказе ФСТЭК России от 16.07.2019 года №135 определен перечень нормативных правовых актов или их отдельных частей, оценка соблюдения которых является предметом государственного контроля (надзора) в области обеспечения безопасности значимых объектов КИИ Российской Федерации.

Основными документами являются 187-ФЗ, Постановление Правительства Российской Федерации от 8 февраля 2018 г. N 127 Правила категорирования объектов критической информационной инфраструктуры Российской Федерации, Приказ ФСТЭК

России от 21 декабря 2017 г. N 235 Требования к созданию систем безопасности значимых объектов критической информационной инфраструктуры Российской Федерации и обеспечению их функционирования, Приказ ФСТЭК России от 25 декабря 2017 г. N 239 Требования по обеспечению безопасности значимых объектов критической информационной инфраструктуры Российской Федерации.

В постановлении Правительства Российской Федерации от 8 февраля 2018 г. N 127 «Правила категорирования объектов критической информационной инфраструктуры Российской Федерации» раскрывается содержание пункта 1 части 2 статьи 6 187-ФЗ. В документе представлены перечень показателей критериев значимости объектов КИИ и правила категорирования объектов КИИ, включающие последовательность и сроки выполнения этапов процедуры категорирования и предоставления сведений, для внесения в реестр значимых объектов.

В рамках реализации данного документа разработана форма акта проверки, составляемого по итогам проведения государственного контроля (ГК) в области обеспечения безопасности значимых объектов КИИ РФ, утвержденная приказом ФСТЭК России от 11.12.2017 № 229.

Правила осуществления государственного контроля в области обеспечения безопасности значимых объектов КИИ РФ введены постановлением Правительства РФ от 17.02.2018 №162. Документ раскрывает содержание пункта 2 части 2 статьи 6 187-ФЗ. ГК проводится в целях проверки соблюдения субъектами КИИ, требований, установленных законодательством РФ по обеспечению безопасности объектов КИИ. ГК осуществляется путем плановых и внеплановых выездных проверок. В документе определен порядок проведения ГК, его сроки. Приведен перечень организационных мероприятий при плановой и внеплановой проверках, ограничения при ГК, а также обязанности лиц органов ГК. Кроме этого ответственность органов ГК при проведении проверок, ответственность субъектов КИИ и меры, принимаемые должностными лицами ГК в отношении выявленных фактов нарушений. Недействительными являются результаты проверок, проведенных с нарушением законодательства РФ, в документе приведен перечень грубых нарушений правил.

В соответствии с пунктом 3 части 2 статьи 6 187-ФЗ разработаны и утверждены Правительством РФ правила подготовки и использования ресурсов единой сети электросвязи РФ для обеспечения функционирования значимых объектов КИИ соответствующим постановлением от 8.07.2019 № 743. В документе указан порядок подключения к ЕСЭС РФ, обязанности оператора связи по обеспечению безопасности своей сети, используемой в интересах КИИ.

Реализация положений пункта 2 части 3 статьи 6 187-ФЗ раскрывается в приказе ФСТЭК России от 06.12.2017 № 227 «Об утверждении порядка ведения реестра значимых объектов КИИ РФ». В документе определен порядок ведения реестра значимых объектов и его содержание, присвоения регистрационных номеров, обязанности субъектов по необходимости внесения данных в реестр, сроки их предоставления.

В рамках реализации пункта 2 части 3 статьи 6 187-ФЗ разработан приказ ФСТЭК России от 21 декабря 2017 г. N 235 «Требования к созданию систем безопасности значимых объектов критической информационной инфраструктуры РФ и обеспечению их функционирования», где определено, что такое система безопасности КИИ, что она обеспечивает, какие требования к ней предъявляются (к силам, средствам системы, документам и функционированию).

Для реализации требований пункта 3 части 3 статьи 6 187-ФЗ разработан приказ ФТЭСК России от 22.12.2017 года № 236, который устанавливает форму направления сведений о результатах присвоения объекту КИИ одной из категорий значимости.

Приказ ФСТЭК России от 25 декабря 2017 г. N 239 «Требования по обеспечению безопасности значимых объектов критической информационной инфраструктуры Российской Федерации» раскрывает содержание пункта 4 части 3 статьи 6 187-ФЗ. Определена обязанность субъектов КИИ по обеспечению безопасности функционирования объектов КИИ.

Приказ ФСТЭК России «Требования к обеспечению защиты информации в автоматизированных системах управления производственными и технологическими процессами на критически важных объектах, потенциально опасных объектах, а также объектах, представляющих повышенную опасность для жизни и здоровья людей и для окружающей природной среды» от 14 марта 2014 г. № 31.

Приказ ФСТЭК России «Требования о защите информации, не составляющей государственную тайну, содержащейся в государственных информационных системах» от 11 февраля 2013 г. № 17.

Приказ ФСТЭК России «Временные требования к средствам антивирусной защиты» от 3 февраля 2012 г.

Приказ ФСТЭК России «Меры защиты информации в государственных информационных системах» от 11 февраля 2014 г.

Приказ ФСТЭК России «Базовая модель угроз безопасности информации в ключевых системах информационный инфраструктуры» от 18 мая 2007 г.;

Приказ ФСТЭК России «Методика определения актуальных угроз безопасности информации в ключевых системах информационный инфраструктуры» от 18 мая 2007 г.

Приказ ФСТЭК России «Состав и содержание организационных и технических мер по обеспечению безопасности персональных данных при их обработке в информационных системах персональных данных» от 18 февраля 2013 г. №21.

В соответствии со статьями 5 и 6 187-ФЗ в РФ создается и совершенствуется Государственная система обнаружения, предупреждения и ликвидации последствий КА (ГосСОПКА). Указом Президента Российской Федерации № 31с от 15 января 2013 года «О создании государственной системы обнаружения, предупреждения и ликвидации последствий компьютерных атак на информационные ресурсы РФ» инициировалось создание такой системы. В документе полномочия по созданию государственной системы обнаружения, предупреждения и ликвидации последствий компьютерных атак на информационные ресурсы Российской Федерации информационные системы и информационно-телекоммуникационные сети, находящиеся на территории Российской Федерации и в дипломатических представительствах и консульских учреждениях Российской Федерации за рубежом возлагаются на представителей органов ФСБ. Определяются ее основные задачи и полномочия органов ФСБ.

В рамках реализации ФЗ № 187 от 26.07.2017 года, указов Президента и законодательства РФ в области обеспечения безопасности КИИ (создания и функционирования ГосСОПКА) разработан ряд документов.

Указом Президента РФ от 22.12.2017 года № 620 определяется необходимость совершенствования ГосСОПКА РФ. В документе определяются полномочия органов ФСБ, устанавливаются задачи ГосСОПКА.

В соответствии с частью 4 статьи 5 и пунктом 2 части 4 статьи 6 187-ФЗ приказом директора ФСБ от 24.07.2018 года № 366 создан Национальный координационный центр по компьютерным инцидентам (НКЦКИ). Документом вводится положение о НКЦКИ, определяются задачи, полномочия, состав центра.

В соответствии с пунктом 5 части 4 статьи 6 187-ФЗ приказом директора ФСБ от 24.07.2018 года № 367 утверждается перечень информации, предоставляемой в ГосСОПКА и порядок ее предоставления. Документ включает два приложения, в первом представлен перечень информации, предоставляемой в ГосСОПКА, а во втором порядок и сроки ее предоставления.

В соответствии с пунктом 7 части 4 статьи 6 187-ФЗ приказом директора ФСБ от 24.07.2018 года № 368 утверждается порядок обмена информацией о компьютерных инцидентах между субъектами КИИ, между субъектами КИИ и уполномоченными органами иностранных государств, международными, международными неправительственными организациями и иностранными организациями, осуществляющих

свою деятельность в области реагирования на компьютерные инциденты, и порядка получения субъектами КИИ РФ информации о средствах, способах проведения КА и о методах предупреждения и обнаружения их.

В соответствии с пунктом 6 части 4 статьи 6 187-ФЗ утвержден порядок информирования органов ФСБ России о компьютерных инцидентах, реагировании на них, принятии мер по ликвидации последствий КА, проведенных в отношении значимых объектов КИИ, приказом директора ФСБ от 19.07.2019 года № 282. В документе определены сроки предоставления информации в НКЦКИ, необходимость разработки плана реагирования на КИ и принятия мер по ликвидации последствий КА.

В соответствии с пунктом 9 части 4 статьи 6 187-ФЗ утверждены требования к средствам защиты, предназначенных для обнаружения, предупреждения и ликвидации последствий КА и реагирования на КИ, приказом директора ФСБ от 6.05.2019 года № 196. В документе определены какие средства относятся к ГоСОПКА, требования к ним, а также к средствам ГосСОПКА в части реализации функций безопасности.

## 1.6. Требования, предъявляемые к современным объектам критической информационной инфраструктуры

Объекты КИИ представляют собой большой класс различных систем, общим для которых, как правило, является то, что это сложные технические системы. К каждой такой системы, предъявляются требования. Требования, показатели, их характеризующие, и критерии оценки определяются, как правило, нормативными документами, ГОСТами, приказами, техническими требованиями, ОСТами и т.д. Одним из наиболее важных, а также предъявляемым к любой технической системе, является требование к ее устойчивости. Устойчивость характеризуется возможностью обеспечивать требуемую работоспособность систем в условиях воздействия на нее различных дестабилизирующих факторов.

ГОСТ Р 70569-2022 определена необходимость обеспечения устойчивого функционирования сетецентрических информационно-управляющих систем [56].

ГОСТ Р 59355-2021 определена необходимость обеспечения устойчивого функционирования системы в условиях несанкционированного информационно-технического воздействия [57].

В соответствии с ГОСТ РВ 0158-006-2018 к системам военной связи, предъявляются требования, в том числе, по: непрерывности функционирования, автономности.

В соответствии с ГОСТ 53111-2008 к сетям электросвязи предъявляются требования

к устойчивости, надежности и живучести. Значения показателей, характеризующих устойчивость сети носит вероятностный характер и не показывает качественно способность сети выполнять функции.

В соответствии с ГОСТ Р МЭК 61508-4-2012 к электрическим, электронным, программируемым электронным системам предъявляются требования по функциональной безопасности, интенсивности отказов, доле безопасных отказов, вероятности опасного отказа по запросу, средней вероятности опасного отказа по запросу, средней частоте опасного отказа в час, времени безопасности процесса, среднему времени восстановления.

ФЗ №187 от 27.07.2017 года определяются требования по категорированию ОКИИ, а в отношении субъекта КИИ определяются требования по предоставлении сведений о присвоении или отсутствии необходимости такового ИИ, а также проверке обеспечения их безопасности ОКИИ, если таковые имеются. Присвоение объекту категории значимости определяет необходимость создания на данном объекте системы безопасности, включающей определенный набор средств защиты, а также выполнения, определенных организационных и технических мероприятий.

Порядок категорирования объектов КИИ, какие мероприятия и кем должны проводиться определяется Постановлением Правительства РФ от 08.02.2018 N 127 «Об утверждении Правил категорирования объектов критической информационной инфраструктуры Российской Федерации, а также перечня показателей критериев значимости объектов критической информационной инфраструктуры Российской Федерации и их значений».

Требования по контролю в области обеспечения безопасности ОКИИ представлены в Постановлении Правительства РФ от 17.02.2018 N 162 «Об утверждении Правил осуществления государственного контроля в области обеспечения безопасности значимых объектов критической информационной инфраструктуры Российской Федерации».

Перечень требований, предъявляемых к средствам, предназначенным для обнаружения, предупреждения и ликвидации последствий компьютерных атак и реагирования на компьютерные инциденты, представлен в приказе ФСБ России от 6 мая 2019 г. N 196 «Об утверждении Требований к средствам, предназначенным для обнаружения, предупреждения и ликвидации последствий компьютерных атак и реагирования на компьютерные инциденты».

Перечень требований, предъявляемых с системам безопасности значимых объектов КИИ представлен в приказе ФСТЭК России от 21.12.2017 N 235 «Об утверждении Требований к созданию систем безопасности значимых объектов КИИ РФ и обеспечению их функционирования». Здесь определен перечень функций системы безопасности

(структурного подразделения по безопасности), представлены требования к программным и программно-аппаратным средствам, применяемым для обеспечения безопасности объектов КИИ, к организационно-распорядительным документам, к функционированию системы безопасности.

Значения параметров технических средств защиты должны обеспечивать обеспечение безопасности на ОКИИ.

В статье 28 приказа ФСТЭК России от 21.12.2017 N 235 определен перечень процессов обязательных к выполнению в рамках функционирования системы безопасности субъектом КИИ.

Данный перечень процессов является соответствует методологии Деминга-Шухарата, являющейся основой процессного рискориентированного подхода.

Приказом ФСТЭК России от 11.02.2013 N 17 «Об утверждении Требований о защите информации, не составляющей государственную тайну, содержащейся в государственных информационных системах» определены требования к защите информации, в том числе, на объектах КИИ. В документе представлен подход к оценке класса защищенности объекта, основанный на уровне значимости информации и масштаба системы, а также перечень средств и мероприятий, которые должны входить в систему защиты информации на объекте в зависимости от полученного класса.

Приказ ФСТЭК России от 25.12.2017 N 239 «Об утверждении Требований по обеспечению безопасности значимых объектов критической информационной инфраструктуры Российской Федерации» определяет требования по обеспечению безопасности значимых ОКИИ на всех этапах их жизни.

Статьей 13 приказа определен перечень мероприятий, необходимых к выполнению на ОКИИ для обеспечение безопасности в ходе его эксплуатации.

## 1.7. Понятие критичности, критичность элементов системы, критичность процесса функционирования

Для понимания сути вопроса обеспечения функциональной устойчивости ОКИИ необходимо рассмотреть вопрос критичности объектов инфраструктуры в разных странах мира. Определение критически важных объектов инфраструктуры (КВОИ) подчеркивает для одних назначение инфраструктуры (объекты, процессы критичны для определенных сфер жизни общества), для других последствия прекращения (сбои) устойчивого функционирования объекта, процесса. При этом не стоит забывать, что критичные для одних отраслей, сфер жизни деятельности государства объекты и процессы для других

таковыми являться не будут. Тоже происходит и для государств — КВОИ для одного может не являться КВОИ для другого, однако существуют отрасли, которые являются критичными практически для любого государства, такие как энергетика, экономика, водообеспечение, оборона и оборонная промышленность, обеспечения правопорядка, социальная и др.

В Европейском союзе под КВОИ понимают актив, систему или ее часть, которая необходима для поддержания ее жизненно важных функций общества, здоровья, безопасности, сохранности экономического или социального благополучия людей, нарушение или прекращение функционирования которых окажет значительное влияние в результате несоблюдения этих функций [58].

В США к КВИО относятся системы и активы, как физические, так и виртуальные, настолько жизненно важные для США, что неспособность или разрушение которых окажет разрушительное воздействие на безопасность, национальную экономическую безопасность, национальное здравоохранение или сохранность, или их любую комбинацию (Закон о борьбе с терроризмом в США, 2001)

В Германии КВОИ это организационные и физические структуры и объекты такой жизненной важности для общества и экономики страны, когда их отказ или деградация приводят к устойчивой нехватке поставок, значительным нарушениям общественной безопасности и сохранности или другим драматическим последствиям (Национальная стратегия защиты КВОИ, 2009).

В Канаде под КВОИ понимаются процессы, системы, средства, технологии, сети, активы, услуги, необходимые для здоровья, безопасности, охраны или экономического благосостояния канадцев и эффективного функционирования правительства (Управление по ЧС Канады, 2011).

В Испании КВОИ являются стратегическими инфраструктурами (объектами, сетями, системами с физическим и ИТ-оборудованием), на которых базируется работа основных служб, работа которых необходима, и где альтернативные решения невозможны, так что их нарушение или разрушение может серьезно повлиять на основные услуги (Закон 8/2011).

В Тринидаде и Тобаго под КВОИ понимают компьютерные системы, устройства, сети, компьютерные программы, компьютерные данные, настолько жизненно важные для страны, что неспособность или разрушение или вмешательство в такие системы и активы могут оказать разрушительное воздействие на безопасность, оборону или международные отношения государства; или предоставление услуг, непосредственно связанных с национальной или экономической безопасностью, банковскими и финансовыми услугами,

инфраструктурой связи, национальным здравоохранением и безопасностью, общественным транспортом, ключевой государственной инфраструктурой или их любой комбинацией (Национальная стратегия кибербезопасности, 2012).

В Швейцарии под КВОИ понимается инфраструктура, разрушение, отказ или нарушение которой будет иметь серьезные последствия для общества, частного сектора и государства (Национальная стратегия защиты Швейцарии от кибер риска, 2012).

В Австрии под КВОИ понимается такой объект инфраструктуры или ее части, которые имеют решающее значение для обеспечения важных социальных функций. Их отказ или разрушение оказывает серьезное воздействие на здоровье, безопасность или экономическое и социальное благополучие населения или функционирование правительственных учреждений (Стратегия кибербезопасности Австрии, 2013).

В Катаре под КВОИ понимаются физические активы, системы или установки, которые в случае их разрушения, компрометации или уничтожения могут оказать серьезное влияние на здоровье, безопасность, сохранность или экономическое благосостояние Катара или на эффективное функционирование правительства Катара (Стратегия кибербезопасности Катара, 2014).

В КВОИ Пакистана включаются объекты инфраструктуры, указанные любым правительством Пакистана и такие прочие активы, системы и сети, как физические, так и виртуальные, настолько жизненно важные для государства или его органов, включая судебные органы, что их недееспособность или разрушение могут оказать разрушительное воздействие на национальную безопасность, экономику, здравоохранение, безопасность или связанные с этим вопросы (Законопроект о киберпреступности, 2015).

Во Франции под КВО понимается жизненная инфраструктура, представляющая собой учреждение, объекты или структуру деятельность которых трудно поддается замене или совместимости, для которых повреждение, недоступность или разрушение в результате злонамеренного действия, диверсии или террористического акта могут прямо или косвенно отяготить военный или экономический потенциал, национальную безопасность или выживаемость нации, или серьезно повлиять на здоровье или жизнь населения (Генеральная межведомственная инструкция по безопасности жизнедеятельности, Генеральный секретариат по обороне и национальной безопасности).

В Италии КВОИ является система, ресурс, процесс, структура (в том числе виртуальная) уничтожение, прерывание или даже частичная или временная недоступность которых приводит к значительному ослаблению эффективности и нормального функционирования страны, а также безопасности и экономической, финансовой и

социальной систем, включая органы центрального и местного публичного управления (Агентство гражданской защиты).

В Кении КВОИ описывают активы, которые необходимы для функционирования общества и экономики Кении (например электросеть, телекоммуникации, водоснабжение) (Национальная стратегия кибербезопасности Кении)

В Норвегии КВОИ является строительство и системы, необходимые для поддержания функций, которые охватывают основные потребности общества и чувство безопасности населения (Стратегия кибербезопасности для Норвегии).

КВОИ Саудовской Аравии это система и активы, как физические, так и виртуальные, настолько жизненно важные для Саудовской Аравии, что неспособность или разрушение таких систем и активов может оказать разрушительное воздействие на безопасность, национальную экономическую безопасность, национальное здравоохранение или сохранность или любую их комбинацию (Национальная стратегия информационной безопасности для Королевства Саудовская Аравия).

В Украине КВОИ являются предприятия, учреждения и организации независимо от формы собственности, чья деятельность напрямую связана с технологическими процессами и/или предоставлением услуг, имеющих большое значение для экономики и промышленности, функционирования общества и безопасности населения, нарушение или неправильное функционирование которого может оказать негативное влияние на состояние национальной безопасности и обороны Украины, окружающей среды, вызвать имущественный шок и / или создать угрозу для жизни и здоровья (Закон Украины, Об основных принципах обеспечения кибербезопасности Украины, 2163-19).

В России КВО называют объект, нарушение (или прекращение) функционирования которого приводит к потере управления экономикой РФ, субъекта РФ или административно-территориальной единицы субъекта РФ, ее необратимому негативному изменению (или разрушению) либо существенному снижению безопасности жизнедеятельности населения (Федеральный закон от 21.12.1994 N 68-ФЗ «О защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера»).

Кроме этого под КВОИ РФ понимают объект, нарушение (или прекращение) функционирования которого приводит к потере управления, разрушению инфраструктуры, необратимому негативному изменению (или разрушению) экономики страны, субъекта Российской Федерации либо административно-территориальной единицы или существенному ухудшению безопасности жизнедеятельности населения, проживающего на этих территориях, на длительный срок («Основные направления государственной политики

в области обеспечения безопасности автоматизированных систем управления производственными и технологическими процессами критически важных объектов инфраструктуры Российской Федерации» утв. Президентом РФ 03.02.2012 N 803).

Частью критически важных объектов инфраструктуры РФ является критическая информационная инфраструктура (КИИ), состоящая из сети электросвязи, используемой для взаимодействия объектов КИИ, к которым относятся информационные системы, информационно-телекоммуникационные сети и автоматизированные системы управления субъектов КИИ (Федеральный закон от 26.07.2017 N 187-ФЗ «О безопасности критической информационной инфраструктуры Российской Федерации»). При этом объекты КИИ рассматриваются в социальной, политической, экономической, экологической сферах, а также в сфере обороны, безопасности и обеспечения правопорядка.

После формирования определения КВОИ необходимо определиться с уровнем важности того или иного критического объекта или процесса, т.е произвести ранжирование объектов. Подходов к ранжированию объектов различной природы существует много, каждый из которых имеет свои особенности. При этом в общем случае их можно разделить на две группы: использующие мнения экспертов в области защиты КВОИ и не использующие.

Определяются какие области жизнидеятельности государства и общества являются наиболее важными и какие объекты этих отраслей для них являются критичными. Определяется в первую очередь влияние на функционирование объекта, т. е. возможность выполнять возложенные на него функции. В этом случае критичность самого объекта, процесса не предполагает критичности его составляющих. Часть элементов объекта, процесса будет критичной для его безопасного устойчивого функционирования, часть нет.

Можно выделить следующие сферы жизни общества в которых присутствуют КВОИ: энергетика (в том числе добывающая промышленность энергетической области), связь, социальная сфера (здравоохранение, обеспечение водой, продуктами питания, различными услугами), финансовая или экономическая отрасль, транспортная инфраструктура, экологическая, сфера управления (муниципальные, городские, региональные, государственные органы управления), обеспечения общественного правопорядка и безопасности, химическая, атомная промышленность, космическая отрасль, оборона и оборонная промышленность. Часть КВОИ будет критична для нескольких отраслей. Так, например, космическая отрасль имеет важное критичное значение для оборонной, экономической отрасли и связи.

Рассматривая методологические подходы к определению КВОИ можно использовать три подхода: на услугах, когда правительством КВОИ определяются на

основе отраслевых критериев, определяющих пороговое значение или количества выработанного уровня услуги (например количество обслуженных человек); на операторе, когда уровень критичности объекта или услуги определяется в сфере деятельности субъектов (операторов) КВОИ, т. е. лиц владеющих или использующих такие объекты; комбинированный подход, для которого критичность определяется с ориентированием и на услуги, объект и оператора.

В Германии, например, КВОИ рассматриваются с двух сторон: системной и символической. Символическое значение объектов инфраструктуры заключается в их важности для создания культурного, эмоционального состояния общества. Нарушение технических параметров, функционала КВОИ, его структуры, которые влияют на состояние системы в которой находятся КВОИ или на инфраструктуру, процесс в целом рассматривается как системная критичность.

Во Франции государственные органы самостоятельно не занимаются критичностью объектов, а назначают жизненно важных операторов, которые занимаются выявлением критических процессов, объектов и т. д. Данные операторы в рамках своей основной деятельности, работают в жизненно важной для государства и общества области. Они управляют или каким-либо образом эксплуатируют, по крайней мере, один объект, нарушение функционирования которого в результате злонамеренного воздействия на него может иметь серьезные последствия для нации. Кроме этого они занимаются обеспечением безопасности таких объектов.

В Великобритании существует девять критически важных секторов и двадцать подчиненных критически важных служб, в составе которых находятся активы (объекты, процессы и т.д.). Каждый сектор закреплен за министерством, которое занимается отбором критических активов и операторов. На основе оценок актива оператором, министерством и Центром по защите национальной инфраструктуры анализируются последствия нарушения его функционирования. Анализ проводится на основании восемнадцати возможных критериев, выраженных количественными значениями. В результате активу присваивается один из шести уровней критичности, при этом только активы с уровнем 3 и более являются критически важными. Комбинация из показателя уровня критичности и вероятности воздействия на объект определяет критичность и важность актива.

Исходя из рассмотренных определений КВОИ назначение инфраструктуры подчеркивается в Канаде, Кении, Норвегии. КВОИ определяются через последствия нарушения их функционирования в Австрии, Франции, Германии, Пакистане, Катаре, Саудовской Аравии, Тринидад и Табаго, России, Испании, Швейцарии, США и на Украине. При этом в некоторых странах, таких как Тринидат и Табаго, определение КВОИ является

очень узким, потому что под КВОИ понимаются только «компьютерные системы, устройства, сети, компьютерные программы, компьютерные данные».

Проведенный анализ существующих в мире подходов к критичности объектов инфраструктуры показал необходимости разработки и углубления научно-понятийного аппарата, описывающего понятие «критичность», как таковое и определения критичности отдельных объектов, систем, явлений, научного методологического подхода к оценке критичности (важности) объектов информационной инфраструктуры, в первую очередь на предмет подверженности компьютерным атакам, однако не ограничиваться только ими. Количество различных дестабилизирующих факторов для систем с каждым годом растет, последствия их воздействия могут приводить к тяжелым последствиям.

Актуальным остается вопрос отнесения всех объектов систем, необходимой для управления государства, крупных предприятий к критически важным объектам информационной инфраструктуры, а не только ее части предназначенной для организации взаимодействия информационных систем, информационно-телекоммуникационных сетей и автоматизированных систем управления.

Таким образом, под критичностью необходимо понимать характеристику, свойство, требование, признак, совокупность признаков, объекта, явления, процесса, системы, элемента любой физической природы определяющие важность (значение) его для выполнения (функционирования) основных сфер жизнидеятельности общества, государства, региона, муниципалитета, организации, отдельного человека, объекта, процесса, системы, другого элемента.

Под критичностью системы можно понимать свойство системы характеризующее уровень влияния нарушения (прекращения) ее функционирования или не выполнения ее отдельных процессов, задач и функций на функционирование, выполнение предназначения другой системы, объекта, предприятия, ведомства, государства и т.д. При этом нужно понимать, что обладание объекта большой критичностью говорит только о возможных последствиях нарушения его функционирования.

Под критичностью объекта можно понимать свойство такого объекта, характеризующее степень влияния нарушения (прекращения) функционирования данного объекта, приводящее к невозможности (нарушению) выполнения им требуемого перечня процессов, задач и функций, на функционирование объектов, элементов системы, в которую входит данный объект, или других систем, выполнение процессов в них.

Критичность процесса – свойство процесса, характеризующее степень влияния нарушения (прекращения) его выполнения на прекращение (нарушение) функционирования объекта, системы

Степень критичности – количественная оценка критичности одного элемента по отношению к другому. Степень критичности может определяться исходя из ранга объекта, элемента, процесса, системы, полученных при ранжировании.

## 1.8 Выводы по Главе 1

1. Развитие самолета строения, начавшееся в начале 20 века привело к широкому использованию авиационных носителей в различных областях жизни общества. Начало 21 века характеризовалось появлением различной техники, управление которой осуществлялось удалено, что не могло затронуть воздушную сферу. Появление БПЛА, более совершенной аппаратуры позволило проводить разведку и исследования в труднодоступных, малоизученных регионах нашей страны.

Современные компании производят БПЛА множества модификаций, обладающих разной массой, дальностью и длительностью полета, позволяющие разместить различное оборудование, что способствовало их широкому применению для проведения аэрогеофизических работ. Развитие такой техники не стоит на месте, что создает конкурентоспособный рынок продукции и услуг связанных с БПЛА.

Совершенствование техники, установка на БПЛА более точного и чувствительного оборудования несколько удорожает стоимость оборудования, что ведет к нежелательной утере его при проведении работ. Все это определяет необходимость развития и совершенствования информационно-управляющих систем, используемых при проведении работ с использованием БПЛА.

Современные ИУС имеют в своем составе базы данных, сетевое оборудование, серверы, линии связи, обеспечивающие обмен информацией, которые постоянно подвержены воздействию различных дестабилизирующих факторов. Нарушение функционирования самой ИУС и ее элементов может приводить к невозможности проведения работ, сбоям, авариям на управляемых объектах, привести к экономическим потерям, снижению престижа организации, экологическим авариям в зоне проведения работ.

В масштабах отдельной организации нарушения функционирования ИУС могут быть незначительными из-за малого объема работ, проводимых организацией, однако для крупных компаний, где объемы работ и обязательства перед другими организациями, населением и государством значительны наличие сбоев может приобретать критическое значение, таким образом ИУС для таких организаций становятся объектами КИИ. Все это определяет необходимость обеспечения функциональной устойчивости ИУС и ее элементов при проведении работ АН.

В 2017 году появился ФЗ-187. В законе закрепили необходимость обеспечения безопасного функционирования ОКИИ. После этого в ряд федеральных законов внесли поправки, регламентирующие отношения в области обеспечения безопасности ОКИИ. Критичными системы и объекты становятся для государства, предприятия, различных сфер жизни общества. Критичность подразумевает меру влияния на них рассматриваемого объекта, в первую очередь, с точки зрения влияния нарушения функционирования ОКИИ на них. За последние десятилетие вопрос регулирования отношений в области безопасности КИИ был хорошо проработан. Заработала система обнаружения, предупреждения и ликвидации последствий компьютерных атак (СОПКА) на ОКИИ, осуществляется координация и взаимодействие субъектов КИИ через НКЦКИ. Законодательно определен перечень средств защиты, которые необходимо использовать на объектах КИИ. Определены требования, предъявляемые как к ОКИИ, так и к их субъектам. Нормативными документами предъявляются требования к ОКИИ, выполнение которых, в первую очередь, направленно на обеспечение безопасного и устойчивого их функционирования.

Проведенный анализ понятийного аппарата критичности объектов в различных странах и определения их значимости показал, что в общем во всех странах вопросу защиты КВОИ уделяется большое внимание, в целом критичными для большинства государств являются сферы связи, экологии, энергетики, транспорта, социальная, экономики, обороны, управления, промышленности и др. Единого понимания, что относится к критическим объектам, в мире нет. При рассмотрении ОКИИ необходимо учитывать не только критичность самого объекта, но и критичность его элементов, которая влияет на процесс его функционирования. Общим для всех стран является необходимость обеспечения устойчивого и безопасного функционирования критических объектов.

# Глава 2. АНАЛИЗ РАЗВИТИЯ И НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ УПРАВЛЕНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ УСТОЙЧИВОСТЬЮ ИУС АН

Устойчивость систем, объектов является фундаментальным понятием, характеризующим одну из важнейших сторон их существования. Устойчивость для любого объекта характеризует постоянство состояния, величин, его характеризующих, его функционирование, выполнение чего-либо, его структуры и т.д.

Общее понятие устойчивости дал русский ученый А.М. Ляпунов в конце 19 века. Он определил устойчивость движения, в соответствии с которым оно устойчиво, когда для сколь угодно малого предельного отклонения, определяющего коридор отклонения, можно указать такие ограничения для возмущения, при которых объект не выйдет за пределы этого коридора [215]. Таким образом можно сделать вывод, что любому явлению в природе свойственно возмущение и реакция на него, а также существует некий коридор устойчивости, в пределах которого, независимо от состояния объекта, системы, воздействующих факторах, возмущениях, должны находиться параметры, характеризующие данный объект.

Возникает необходимость обеспечения сохранения траектории состояния системы, объекта в пределах этого коридора. При этом важнейшей особенностью любого объекта и системы, является их предназначение, которое может меняться, и способность выполнения этого предназначения будет определять функциональную устойчивость объекта, системы. Первым и главным элементом процесса обеспечения функциональной устойчивости объекта КИИ, системы будет контроль сохранения устойчивого состояния системы, объекта КИИ.

Контроль является одним из элементов процесса управления системой, который направлен на определение состояний, системы, характеризуемых отклонением системы за пределы коридора устойчивости. Изменение состояния системы и отклонение его от устойчивого функционирования происходят из-за различных дестабилизирующих факторов, которые можно разделить на внутренние и внешние, преднамеренные и непреднамеренные, а также факторы, связанные с техническими средствами, элементами системы, связанные с персоналом – человеческие факторы, и факторы окружающей обстановки.

Обеспечение устойчивости по Ляпунову говорит о необходимости определения допустимости воздействия, т.е. определения факторов и степени их влияния на систему при

которой она остается в коридоре устойчивости, характеризующем ее функциональную устойчивость. Здесь происходит конкретизация дестабилизирующих факторов, где наибольшую опасность представляют факторы, связанные с преднамеренным воздействием человека и технических средств, такие как террористические акты, воздействие различных видов оружия, целенаправленные атаки и т.д. Кончено рассматривая такие факторы, влияющие на функциональную устойчивость системы, необходимо учитывать значимость объекта, его географическое расположение, особенности и условия функционирования и т.д. Так например для объекта расположенного в сейсмически опасной области существенным и опасным фактором будет возможность изменения сейсмической обстановки этой зоны. Такие факторы необходимо учитывать на этапе проектирования системы, а также адаптировать ее в процессе функционирования к новым меняющимся условиям. Наряду с коридором устойчивости возникает необходимость рассмотрения коридора возможностей ИУС, проектирования и построения объектов КИИ и систем по учету таких факторов и снижению степени влияния их на систему. Воздействие на отдельные системы и их элементы, приводящие к нарушению или прекращению их функционирования, должно рассматриваться как невозможное событие, хотя с определенной долей вероятности оно может наступить. Такие события могут быть характерны для автоматизированных систем управления, систем связи, информационных систем, ИУС, например, атомных электростанций, химических производств, высокоточных производств, когда отсутствие возможности получения информации или получение недостоверной информации в той или иной степени может привести к тяжелым последствиям и жертвам. Развитие систем и технологий, а также рост количества критически значимых объектов создает определенные риски для их функционирования и других систем, и объектов.

Наряду с устойчивостью по Ляпунову, которая выступает как общая устойчивость, и с точки зрения которой можно рассматривать любые системы, объекты, их состояние и процессы в них, существенное значение имеют структурная, функциональная, динамическая, структурно-функциональная, структурно-динамическая, функционально динамическая устойчивость, а также комбинированная устойчивость, включающая все эти понятия.

Структурная устойчивость характеризует сходство систем при изменении их состава и связей между ее элементами. Функциональная устойчивость характеризуется сходством и отличием функциональных возможностей системы. Особый интерес вызывает структурно-функциональная устойчивость, определяемая совокупностью возможных вариантов построения структуры системы с отношением к ней функциональной

характеристики системы. Структурно функциональная устойчивость определяет статическую устойчивость, характерную на различных отрезках времени для которых изменение состояния системы имеет незначительный характер или вовсе отсутствует. Особенностью современных ИУС является динамичность изменения их состояния и окружающей их среды, когда в кратчайшие сроки может происходить смена нескольких состояний системы, что определяет необходимость рассмотрения комбинированной устойчивости системы. Ниже под комбинированной устойчивостью будем понимать функциональную устойчивость.

Ключевым остается вопрос достижения целевого предназначения системы, обеспечение устойчивости которой и направленно на это. В кибернетике под развитие понимается переход целеустремленной системы ко все более эффективным методам, сферам и масштабам деятельности [59]. В рамках достижения целевого предназначения системы актуальным для современных систем становится вопрос пространственного разнесения элементов системы наряду с созданием пространства этих элементов большей размерности.

Развитие систем, убыстрение процессов в ней, необходимость своевременного реагирования на изменение состояния в рамках обеспечения функциональной устойчивости привели к тому, что человек не способен воспринимать то множество процессов в системе, скорость их реализации, не говоря уже о своевременной реакции на них. Такое состояние дел четко прослеживается в концепции лауреат Нобелевской премии Алвина Тоффлера. Согласно ему существует предельная скорость восприятия человеком перемен, так же как есть очевидное ограничение по скорости роста численности человечества, приводящее к демографическому переходу [59]. Говоря о развитии систем мы сталкиваемся с необходимостью автоматизации процессов в системе, развитием систем поддержки принятия решения, автоматических и автоматизированных систем, ИУС.

Важным элементом любой системы и обеспечения ее устойчивости является ресурс системы, который не безграничен. Современная действительность состоит в том, что практически любая система функционирует в условиях ограниченности ресурса. Такое состояние дел в области обеспечения функциональной устойчивости определяет наряду со знанием состояния системы и получения достоверной информации о ее ресурсном обеспечении поиск способов и методов оптимизации использования ресурсов, определения степени и значимости ресурсов для системы, а также распределения и перераспределения ресурсов между элементами системы для достижения целевого предназначения системы.

Этот вопрос становится особенно острым в связи со сбывшимся пророчеством Станислава Лема о замедлении технического прогресса и падении влияния науки на

общество. Все это обусловлено ограниченностью использования ресурсов. Реализация лозунгов прошлого «выше, дальше, быстрее» в современном мире отсутствует, в первую очередь, из-за ограниченности ресурсов планеты. Развитие человечества и систем в этом направлении приведет к быстрому истощению ресурсов. Человечество сегодня не в состоянии вести исследования по всем перспективным направлениям, поэтому обществу приходится искать задачи, наиболее важные для будущего развития, на которых ученые могли бы сосредоточить основные усилия [23, 59].

Рассматривая функциональную устойчивость системы необходимо определить точку перехода системы и множества параметров, ее характеризующих за пределы коридора устойчивости, когда произойдут необратимые последствия и будет отсутствовать возможность возвращений системы в устойчивое состояние, т.е. состояние в котором она не сможет выполнить свое целевое предназначение. Такой точкой можно рассматривать току бифуркации, когда еще существует возможность принять меры и удержать систему в устойчивом состоянии.

В математике понятие бифуркации ввел Якоби и использовал Пуанкаре для обозначения изменения числа решений или потери их устойчивости для уравнений определенного типа. Плавный переход из одного состояния в другое определяется мягкой бифуркацией, переход же скачкообразно – жесткой. Система в процессе функционирования постепенно или скачкообразно движется к точке бифуркации, в окрестностях которой малейшие изменения состояния системы могут иметь необратимые последствия для нее, что требует всяческого ухода от такого состояния и перехода в функционально устойчивое состояние, путем снижения влияния факторов или реализации, других управляющих действия над системой и ее элементами.

Обеспечение устойчивости функционирования можно представить в виде выбора состояния системы из множества возможных состояний, позволяющих обеспечить ее функциональную устойчивость. А. Тоффлер так характеризует вставшие в связи с этим выбором проблемы: «помимо роста технологической мощи и возможностей, также возрастает количество вариантов выбора. Развитая технология позволяет создать избыток выбора товаров, культурных изделий, услуг, субкультов и образов жизни. В то же время избыток выбора становится характерной чертой самой технологии. Впервые столкнувшись с избыточным технологическим выбором, общество должно производить не единовременный, а комплексный отбор машин, технологий и систем. Оно должно выбирать так же, как личность выбирает свой образ жизни; оно должно принимать сверхрешения относительно своего будущего. Более того, так же как отдельный человек может осуществить разумный выбор между совершенно различными образами жизни, общество

может сейчас осуществить выбор между различными культурными стилями. Это является новым фактором в истории. В прошлом культура возникала непреднамеренно. Сегодня мы впервые можем осуществлять этот процесс сознательно» [59].

Критериями выбора должно стать, наравне с обеспечение выполнения целевого предназначения системы, ее функциональная устойчивость и эффективность использования ресурсов в условиях соблюдения требований, предъявляемых к системе и ее элементам.

Состояние системы, требования, предъявляемые к ней и ее элементам, свойства, возможности, функции, задачи, формулировка целевого предназначения, состав и возможности ресурсного обеспечения с течением времени меняются, меняется их содержание. Неизменным остается требование к устойчивому выполнению системами, объектами требуемого целевого предназначения. При этом скорость таких изменений с каждым годом растет.

В системе возникают противоречия:

между потребностями органов и системы управления в выполнении заданного, определенного целевого предназначения ИУС и ее возможностями (способностью) по выполнению этого целевого предназначения, изменение которых осуществляется в режиме реального времени под действие изменяющейся обстановки и воздействия дестабилизирующих факторов;

между нынешним состояние систем, объектов КИИ, входящих в них элементов и потребностями в автоматизации процессов в системе;

между требованиями к процессу контроля системы и существующей степенью автоматизации процесса функционирования системы.

Очевидно, что решение данных противоречий лежит в области управления системой и управления рисками в ней.

Реализация процесса управления как такового даст положительный эффект в обеспечении функциональной устойчивости, только тогда, когда результаты контроля и сам контроль участвуют в процессе управления, одним из элементов которого должна быть обратная связь между управляемым и управляющим объектами.

Система управления выступает в качестве инструмента реализации управляющих воздействий и выполнения функций и задач управления.

По мнению В.И. Мухина, под системой управления понимаются «системы, в которых протекают процессы управления» [60]. Управление есть тесное и постоянное взаимодействие двух элементов субъекта управления, выступающего в качестве управляющего, и объекта управления, в качестве управляемой части. Процесс

взаимодействия субъекта и объекта неразрывно связан с обменом между ними информацией, управляющими воздействиями, отчетами и т.д. Наличие и реализация обратной связи в системе управления позволяет оценивать эффективность и результат взаимодействия объекта и субъекта управления.

Под субъектом управления будет пониматься совокупность различных органов управления, лиц, принимающих решение, (ЛПР) (организаций, подразделений, групп лиц, руководителей и отдельных работников), которые осуществляют целенаправленное воздействие на управляемую систему, подсистему (объект управления) [23]. Для объектов КИИ, ИУС, сложных технических систем субъектами управления являются их органы управления, подсистема управления, ЛПР, автоматизированные системы управления.

Целями управления системами, объектами в современных условиях являются обеспечение выполнения системами своего целевого предназначения и основных требований, предъявляемых к ним, т.е. по сути в первую очередь направлено на обеспечение функциональной устойчивости с заданными требованиями.

Функциональная устойчивость наряду с способностью адаптироваться к изменяющейся обстановке и потребностям органов управления являются доминирующими свойствами системы, объекта КИИ.

Главной материальной базой обеспечения процесса функционирования системы являются ее ресурсы, в широком смысле которые можно разделить на человеческие, технические и производные их деятельности.

К концепциям управления относятся научные модели менеджмента (идеи, школы, учения, парадигмы). Наиболее значительными концепциями XX в. являются [23]:

научное управление трудом и классическая административная школа (1910—1930);

школы человеческих отношений и поведенческих наук (1930—1950);

теория принятия решений и количественный подход (1950— 1960);

системный и ситуационный подход к управлению (1950— 1960);

теория стратегий, инноваций и лидерства (1970—1980);

теория устойчивого развития и глобального «менеджмента без границ» (1980—1990).

Принципы управления – основные исходные положения теории управления, применение которых позволяет осуществлять эффективное управление и достигать результатов при минимальных затратах ресурсов [23]. К основным принципам управления системой можно отнести следующие: децентрализация, партнерство, субсидиарность, мобильность и адаптивность, принцип выделенной компетенции.

Технология управления – представляет собой целенаправленную последовательность операций управления, результатом которых является принятое и реализованное решение [23]. Технология управления моделируется с помощью сетевого графика процесса управления, оперограмм и органиграмм решения задач и технологических карт процесса управления.

Функции управления – особый вид управленческой деятельности, продукт процесса разделения и систематизации труда, представляющий собой часть процесса управления, выделенный по определенному признаку [23]. Различают основные (прогнозирование, планирование, нормирование, учет, контроль, анализ, регулирование или координация) и конкретные (предметные) функции (например, управление персоналом).

Система управления имеет иерархическую структуру: в соответствии с «вертикальным» разделением труда выделяются отдельные уровни управления, такие как высшее руководство, средний и низший уровни.

Структура управления – структура объекта управления, построенная с учетом требований наилучшего функционирования системы [23, 61].

Методы управления – способы осуществления управленческих воздействий на персонал для достижения целей управления системой [23]. Существуют административные, экономические, социально-психологические методы, которые различаются способом воздействия на людей.

Управленческое решение – это логическое взаимоотношение уровней управления и функциональных областей, построенное в такой форме, которая позволяет наиболее эффективно достигать поставленные цели, или – это акт деятельности руководителя, ведущий к разрешению проблемы, а тем самым определяющий нормальное функционирование или развитие системы [23].

Процесс принятия решения включает: постановку цели; сбор и обработку информации; подготовку проектов решения; согласование; принятие решения; контроль [62].

Регламенты управления – определенная совокупность правил, устанавливающих порядок деятельности органов управления, управляющих систем, подсистем, объектов [23]. Существующие регламенты разделяются на общесистемные (устав, договор, правила внутреннего распорядка и т. д.) и элементные (персонал, информация, техника, процесс и др.) и представляют собой комплекс нормативных документов по регулированию отдельных направлений деятельности системы.

Информация управления – совокупность сведений, используемых персоналом для выработки управленческого решения. Техника управления – взаимосвязанный комплекс

технических средств (сбора и регистрации, передачи, ввода, накопления, обработки, вывода, отображения и размножения информации), предназначенных для механизации и автоматизации информационных процессов в системе управления системой с целью выработки рациональных решений [23, 63].

Совершенствование современных систем управления привело к построению автоматизированных ИУС, объединяющих преимущества автоматизированные системы управления, телекоммуникационных и информационных систем.

Использование ИУС позволяет уменьшить цикл управления, в режиме реального времени производить обмен информацией в системе, передавать управляющие воздействия объектам управления, осуществлять сбор и обработку информации, ее хранение, что позволяет вырабатывать решения в условиях меняющейся обстановки.

Совершенствование систем управления является одной из приоритетных задач иностранных государств и включает мероприятия автоматизации процесса управления, создания крупных баз данных и центров обработки данных, внедрения беспилотных технологий и роботизированных комплексов, искусственного интеллекта, систем прогнозирования состояния объектов контроля, систем поддержки принятия решений, направленных на достижение технологического превосходства в информационном пространстве, промышленности и на поле боя. Данные вопросы хорошо проработаны в рамках концепций «кибервойны», «информационной войны», «сетецентрической войны» и других.

Интерес к ИУС, АСУ, информационным и телекоммуникационным системам и сетям обоснован возросшим количеством информационных угроз современной инфраструктуре государства. Общая доля угроз информационной безопасности для ИУС, по оценкам современных специалистов, составляет более 65 % и с каждым годом растет.

Изменение текущей обстановки функционирования ИУС, наличие, наряду с информационными воздействиями, ДФ может приводить к сбоям в системе, нарушению выполнения, возложенных на нее задач, что актуализирует необходимость пристального внимания к проблеме функциональной устойчивости ИУС [65, 66, 67]. Наряду с этим, потребность в гарантированном выполнении требуемых задач и функций для объектов КИИ определяет необходимость поиска средств обеспечения функциональной устойчивости системы [68, 69, 70].

Обеспечение процесса функционирования сложных технических систем на современном этапе развития науки и техники может быть достигнуто не только с использованием технологических и организационных мер, но и путем выработки

соответствующих методологий, концепций, методов и технологий управления и синтеза таких систем, объектов, направленных на достижение их целевого предназначения [23, 71].

Таким образом в главе рассмотрим основные факторы, обеспечивающие процесс функционирования систем, объектов КИИ и ДФ, влияющих на него.

## 2.1. Развитие процессного подхода в управлении системами. Рискоориентированое управление

Важнейшей задачей управления систем является повышение эффективности и качества их функционирования систем, т.е. выполнение ими того перечня функций и задач, которые требуются лицам, принимающим решение, с требуемым качеством, определяемым нормативными документами, и в установленные сроки. Регламент, определяемый как характеристика определенной задачи в установленные сроки, становится одним из главных элементов любой системы, объекта КИИ от качества и эффективности выполнения которого зависит эффективность функционирования всей системы. Сложность системы, количество связей между элементами, множество процессов в ней не позволяют человеку и его мозгу одновременно воспринимать весь процесс функционирования системы как единого целого с учетом всех, даже простейших регламентов. Наряду с этим, влияние нарушения функционирования элементов системы, выполнения процессов, влияния их друг на друга до конца не изучены, что создает условия для дестабилизации функционирования всей системы, нарушения эффективности и качества процессов, регламентов в ней. Все это требует с одной стороны автоматизации процесса управления системой с возможностью лицам, принимающим решение, получить информацию о любом процессе системы, который выполнен или не выполнен, выполняется или будет выполняться, с другой стороны минимизации одновременного отображения информации о состоянии системы оператору. Все это определяет необходимость для обеспечения эффективного функционирования СТС, ОКИИ создания ИУС, АСУ, включающих элементы контроля процессов в системе и поддержки принятия решения, позволяющих своевременно выявлять и реагировать на нарушение устойчивого функционирования системы, объекта КИИ. Требуется реализация подхода, позволяющего контролировать процесс функционирования системы, объекта КИИ при выполнении процессов и регламентов в нем, а также прогнозировать изменение состояния системы на основании информации о текущем состоянии системы и ее элементов.

Современные ИУС являются критически важными для систем, организаций, ведомств, регионов, государства. Критичность обусловлена нарушением их устойчивого

функционирования, приводящего к невозможности или нарушению выполнения требуемого набора функций и задач с требуемым качеством и в установленные сроки, что приводит к снижению эффективности функционирования объектов, зависимых от них. В сфере управления бизнесом решение таких проблем достаточно отработано, что обусловлено внедрением в процессы управления системы международных стандартов менеджмента качества серии ИСО, описывающие рискоориентированные процессы в системах.

Необходимость выполнения требований международных стандартов серии ИСО привело к внедрению рискориентированного процессного подхода в управлении производством продукции и услуг. Система менеджмента качества направленна на повышение эффективности функционирования предприятия и улучшении качества его продукции за счет внедрения этапов концепции Деминга-Шухарта.

Эволюция и внедрение стандартов управления качеством в России приведена в таблице 2.1.

Таблица 2.1 - Международные стандарты менеджмента качества на основе процессного подхода

| Международные стандарты | Российский аналог международных стандартов | Содержание стандартов |
|---|---|---|
| ISO 9000:2005 «Quality management systems – Fundamentals and vocabulary» [72] | ГОСТ ISO 9000-2011 «Системы менеджмента качества. Основные положения и словарь» [73] | Дает представление о терминах и определениях СМК. |
| ISO 9001:2008 «Quality management system – Requirements» [74] | ГОСТ ISO 9001-2011 «Системы менеджмента качества. Требования» [75] | Направлен на обеспечение качества продукции и повышение удовлетворенности потребителей, предназначен для сертификации СМК |
| ISO 9004:2009 «Managing for the sustained success of an organization – A quality management approach» [76] | ГОСТ Р ISO 9004-2010 «Менеджмент для достижения устойчивого успеха организации. Подход на основе менеджмента качества» [77] | Нацеливает на удовлетворение потребностей всех заинтересованных сторон, на улучшение деятельности организации, не предназначен для сертификации СМК. |
| ISO 9004:2018 «Quality management - Quality of an organization – Guidance to achieve sustained success» [78] | ГОСТ Р ИСО 9004-2019 «Руководство по достижению устойчивого успеха организации» [79] | Нацеливает работу организации на достижение устойчивого успеха. Обосновывается необходимость перестроения (адаптации) динамичной организации (системы) в условиях меняющейся обстановки для достижения устойчивого успеха. Представлен механизм самооценки организации. |

Основной причиной внедрения менеджмента качества является стремление повысить качество и эффективность функционирования систем, объектов, выполнения процессов и регламентов в них. Соответствие стандартам серии ИСО определяется способностью имеющегося уровня управления соответствовать минимальному набору

стандартизованных требований, гарантирующих производство продукции предсказуемого качества, а это определяет конкурентоспособность бизнес-системы.

В большинстве современных ИУС, объектов КИИ присутствуют процессы, которые соответствуют основным функциям управления организацией или компаниям. К таким процессам можно отнести целеполагание, планирование, управление персоналом, кадрами, организация структур для различных задач, функций и целей, управление процессами, контроль деятельности, функционирования, выполнения задач [10, 23]. В таком аспекти на основании стандартов могут быть разработаны условия для автоматизации проектирования системы, разработки регламетов, их контроля в системе при их функционировании и управлении ими.

Процесс функционирования системы не всегда эффективен и функционально устойчив. Качество процессов в них, а также устойчивость их выполнения могут быть улучшены и повышены за счет их представления и рассмотрения в виде регламентов [80].

Использование процессного подхода позволит выполнение целевого предназначения системы с минимальными затратами в условиях ограниченности ресурса и изменяющейся обстановки [81, 82].

Идея процессного подхода появилась в конце 80-х годов XX века в США. Майкл Хаммер (Michael Hammer) и Джеймс Чампи (James Champy), изучая систему управления штаба НАТО, описывавшего свои регламенты в терминах процессов по нотации IDEF (Integrated Definition), и изучая систему управления крупных компаний, обнаружили, что система их управления характеризуется: сложной иерархией, централизацией, а также «функциональностью» структур организаций. М. Хаммера и Д. Чампи в работе «Реинжиниринг корпорации» видели ключ к оптимизации деятельности предприятия в создании новых процессов «с чистого листа» [83].

В 1924 г. Уолтер Шухарт выявил, что все процессы на производстве продукции/услуг в организации подвержены отклонениям от заданных, требуемых значений. Данная закономерность легла в основу теория вариабельности [23, 84]. Причинами таких отклонений посчитали внутренние и внешние по отношению к процессу производства факторы [85].

В 1939 году в книге «Статистические методы с точки зрения управления качеством» У. Шухартом предложена концепции PDCA (планируй (Plan), делай (Do), проверяй (Check), воздействуй (Act)), использование которой позволило бы снизить вариации производства продукции по необходимым критериям [84]. Э. Деминг, развивая данную концепцию, предложил модификацию цикла PDCA - цикл PDSA («Study» - изучать).

В цикле Деминга-Шухарта PDC(S)A (рис. 2.1) результативность процессов обеспечивается управляющей обратной связью по установленному критерию [86].

Управление процессами деятельности направлено на эффективное достижение желаемых результатов с заданной точностью и в установленные сроки [87].

Рисунок 2.1 - Цикл Деминга-Шухарта

Основными элементами цикла PDC(S)A являются [23, 83]:

P – определение целевого предназначения системы, ее целей, функций, задач и условий достижения их, в том числе внесение необходимых перемен (разработка плана);

D – реализация плана, выполнение действий, регламентов, внесение перемен (реализация плана);

C – анализ результатов и изменение (контроль выполнения плана);

A - проведение необходимых действий, если результаты не отвечают первоначально запланированным, или стандартизация действий в случае успеха (исправление плана, реализация обратной связи).

В процессе функционирования системы цикл повторяется постоянно, периодически с учетом полученных данных и результатов проведенных изменений [83].

Содержание элементов цикла Деминга-Шухарта приведено в таблица 2.2.

Таблица 2.2 - Цикл Деминга-Шухарта PDCA

| Наименование этапа цикла PDSA | Наименование этапа цикла PDCA | Содержание этапа цикла PDCA |
|---|---|---|
| Plan (план) | Plan (план) | разработка целей и процессов, необходимых для достижения целевого предназначения системы, объекта КИИ в соответствии с требованиями потребителей и политикой организации |
| Do (реализация) | Do (реализация) | осуществление, внедрение процессов |
| Study (изучение) | Check (проверка) | проверка постоянные контроль и измерение процессов и продукции в сравнении с политикой, целями и требованиями на продукцию и сообщение о результатах |
| Act (исправление) | Act (исправление) | действие, принятие действий по постоянному улучшению показателей процессов |

Важнейшими элементами цикла управления, обеспечивающими поддержание функционирования системы на требуемом качественном уровне, является планирование и

контроль. Этапы контроля, как правило, включают выполнение периодически повторяемых действий, направленных на правильное и своевременное выполнение требуемого набора функций и задач. Контур управления отражает непрерывность (цикличность) процесса управления [88].

Стандартом ISO 9001:2008 определено что процессный подход реализуется через выделение процессов и управление ими, в первую очередь обеспечения их взаимодействия [74]. По мнению Т. Давенпорта [89], необходимое обеспечение выполнения каждого процесса, и его оптимизация наряду с его определением, значимостью, границей выполнения является основой идентификации любого процесса организации.

Стандартом ISO 9000-2005 устанавливается необходимость помимо идентификации процессов определение последовательности их выполнения и влияния друг на друга для эффективного функционирования организации [72].

Стандартом ISO 9000 вводится термин «процесс», по которым понимается совокупность взаимосвязанных или взаимодействующих видов деятельности, преобразующая «входы» в «выходы» [73]. Схему процесса в виде модели «черного ящика», в котором есть вход и выход, впервые предложил известный кибернетик Н. Винер в середине XX века. Особенностью этой модели является отсутствие учета обратной связи, в отличии от цикла Шухарта-Деминга [23].

Процесс обеспечения функциональной устойчивости объекта КИИ, ИУС – это совокупность действий органов управления, элементов системы, позволяющих обеспечить выполнение целей, функций и задач путем преобразования ресурсов системы на входе в требуемый результат обеспечения функциональной устойчивости на выходе.

Процесс управления функционированием объекта КИИ, ИУС – это совокупность действий органов управления, лиц, принимающих решение, позволяющих обеспечить выполнение целей, функций и задач путем преобразования ресурсов системы на входе в требуемый результат выполнения целевого ее предназначения на выходе.

Для потребителя, системы и ее элементов ценностью обладает результат выполнения процесса, конечный продукт. М. Портер в 1980 г. ввел понятие «процессная ориентация». В соответствии с ним основой функционирования любой системы является обеспечение взаимодействия между звеньями цепи, в которой создается ценность, результат процесса. Благодаря модели цепочки создания ценности (Value Chain) М. Портера все процессы в системе принято подразделять на основные (имеющие ценность, предназначенные для получения продукции, результатов деятельности системы, организации) и вспомогательные (с точки зрения потребителя, обеспечивающие выполнение основных процессов) [90].

Внутри системы при выполнении процессов, функционировании ее элементов происходит переработка одних ресурсов (материальных, финансовых, информационных и т.д.) в продукты деятельности организации, системы, услуги и т.д.

Элементы системы, ее ресурсы, множество задач, функций, целей, выполняемые требования, предъявляемые к ним, выступают в качестве частей цепочки процесса функционирования системы, объекта конечной целью которой является выполнение заданного для системы целевого предназначения. Эффективность функционирования системы – выполнения такой цепочки может оцениваться и повышаться как в целом, так и по элементам (структуре, ресурсу, задачам, функциям, целям).

Процессный подход основан на следующих принципах [23, 91]:

деятельность компании рассматривается как совокупность процессов;

выполнение процессов подлежит обязательному документированию и формальному описанию;

у каждого процесса есть потребитель (внутренний или внешний), определяющий требования к процессу и к его результатам, которые формируют цель процесса;

у каждого процесса есть лицо, отвечающее за его функционирование и результат;

каждый процесс характеризуется ключевыми показателями, описывающими его исполнение, результат или влияние на итог деятельности организации в целом.

Принципы регулирования эффективности и порядка выполнения действий и процессов в организации являются основой процессного подхода [92]. Й. Беккер отмечает, что организация процессов – это инструмент для контроля выполнения задач, а также координации временных и пространственных аспектов их выполнения [90].

Организация процесса функционирования и управления системой, объектом КИИ на основе процессного подхода определяет актуальность проблемы его исследования в целях оптимизации управления системой.

Для сложных технических систем, объектов КИИ в качестве бизнес-процессов будет рассматриваться устойчивая, целенаправленная совокупность взаимосвязанных процессов, операций, предназначенных для обеспечения выполнения целевого предназначения системы, обеспечения ее устойчивого функционирования, позволяющие преобразовывать входные ресурсы в выходные результаты ее деятельности. Этапами процесса выполнения целевого предназначения системы является выполнение процессов, операций, задач, функций и целей. Содержание, обеспечение, условия выполнения таких процессов определяются их владельцами, системой управления, лицами, принимающими решение, в соответствии с требованиями к ним и потребностями всей системы для обеспечения выполнения ее целевого предназначения. Данные лица, отвечающие за процесс

осуществляют контроль его выполнения. При этом в системе, наряду с контролем каждого процесса его владельцем, осуществляется общий контроль в интересах выполнения ее целевого предназначения.

Противопоставление функциональной, структурной и процессной организации функционирования системы является не совсем корректным. Это обусловлено участием в выполнении каждого процесса определенных структурных элементов системы, функциональных подразделений, а также задействовании определенного набора функций системы.

Функциональный подход к системам сформирован в начале XVIII в. Впервые состав функций был сформулирован А. Файолем: планирование, организовывание, распоряжение, координирование и контроль [23].

Особенностью функционального подхода было рассмотрение каждой функции отдельно, выполнение ее оптимизации, совершенствования без определения и выявления связей между функциями. Такой подход привел к разрыву связей в цепочке управления, перекосам в оптимизации выполнения функций, нарушению технологического процесса из деградации отдельных функций, их обособлению и потере (уменьшению) межфункциональных связей [93]. Оптимизация отдельных функций привела к уходу от выполнения целевого предназначения организации (главной цели) к выполнению целевых функций подразделений. Необходимость применения процессного подхода в управлении организацией и процессами в ней была обусловлена потребностью объединения всех видов деятельности организации в единую систему, направленную на обеспечение функционирования системы и выполнение ею целевого предназначения в условиях динамически изменяющейся обстановки.

Процесс управления функционированием системы представляют собой совокупность последовательных действий по воздействию на объект управления, имеющих цель обеспечить переход системы из текущего состояния в требуемое, определяемое набором требований, характеристик системы, необходимых в данный момент времени. Процессу управления, за счет реализации обратной связи, свойственна цикличность. При изменении обстановки функционирования системы количество и характер управленческих действий может меняться, но их совокупность должна быть направлена на поддержание заданной эффективности выполнения цели системы в требуемых границах (области).

Реализация процесса управления носит циклический характер, основой которого выступает процесс сбора и обработки информации. Результатом правильной работы с информацией является выработка управленческих решений по воздействию на систему. Изменение обстановки, состояния системы, увеличение/уменьшение возможностей

системы и потребностей ЛПР в системах без обратной связи, контроля состояния системы приводить невозможности ею выполнять свое предназначение [94-100]. Возникает взаимопроникновение процессного и функционального подходов, через постоянное определение состояния системы, количества и качества процессов в ней, а также реализации управляющих воздействий, направленных на достижение целевого предназначения системы.

При использовании процессного подхода для описания управления и функционирования системы весь процесс разбивается на подпроцессы — цели, цели – на функции, функции — на задачи. Выполнение каждого элемента процесса функционирования системы включает контроль выполнения, а также реализацию управляющих воздействий, направленных на поддержание эффективности его выполнения в заданных границах требований.

Использование процессного подхода, включающего идентификацию процессов, определение лиц, ответственных за каждый процесс, определение связей между ними, контроль их выполнения и заданных требований к ним, а также реакцию на нарушение их выполнения позволяют в режиме времени близкому к реальному своевременно реагировать на них. При этом, в рамках процессного подхода возможно учитывать и реагировать на появление новых процессов, изменение требований к ним и системе в динамике изменения состояния системы и окружающей обстановки подхода, что показывает способность системы обеспечивать ее устойчивое функционирование.

Увеличение размеров организации, системы приводит к появление большего количества процессов и необходимости их дробления на подпроцессы до простейших задач, выполнение которых обеспечивается только ресурсом системы. В [10] В.В. Репин и В.Г. Елиферов рассматривают управление через разделение процессов управления по уровням: верхний, детальный, элементарные операции (не требуют детального описания). Аналогично можно рассматривать процесс функционирования самой системы, включающий уровни иерархии процессов, происходящих в ней.

Деление процессов на подпроцессы приводит к необходимости построения иерархической системы процесса функционирования ИУС АН, где процессы нижнего уровня обеспечивают выполнение процессов верхнего [101, 102]. С поднятием вверх по иерархии будет происходить усложнение процессов и их общее описание, опускаясь ниже будет происходить детализация выполнения каждого процесса, что позволит с одной стороны охватить все процессы и обеспечить их выполнение, а с другой стороны снизит громоздкость выполнения целевого предназначения и его контроль.

Пример идентификации процессов и деления их на подпроцессы в соответствии с по

ГОСТ ИСО 9001 представлен в таблице 1.3. Данные из таблиц могут использоваться для построения дерева процессов системы.

Таблица 2.3 - Формирование деревьев процессов и деревьев процессов высшего руководства по ГОСТ ИСО 9001

| Системы процессов | Перечень ключевых процессов | Подпроцессы |
|---|---|---|
| Процессы управления качеством | 1.Определение общих требований к СМК | |
| | 2.1 Установление требований к составу документации | 2.1 Установление требований к составу документации |
| | | 2.2 Установление состава руководства по качеству |
| | | 2.3 Определение процедур управления документацией |
| | | 2.4 Определение процедур управления записями |
| Процессы высшего руководства | 1. Принятие руководством обязательств по разработке, внедрению СМК и постоянному улучшению ее результативности | |
| | 2. Обеспечение определения и выполнения требований потребителей | |
| | 3. Разработка и внедрение политики в области качества | |
| | 4. Планирование | 4.1. Установление целей в области качества |
| | | 4.2. Планирование построения СМК |
| | | 4.3. Планирование развития СМК |
| | 5.Определение ответственности, полномочий и обмен информацией | 5.1. Определение ответственности и полномочий |
| | | 5.2. Назначение представителя высшего руководства |
| | | 5.3. Организация обмена информацией |
| | 6. Анализ СМК со стороны руководства | |

На втором этапе осуществляется на основе анализа «стандартных» деревьев процессов и наложения их на процессы, выполняемых в системе, выделение и отображение тех ключевых процессов, направленных на достижение целевого предназначения системы.

На третьем этапе осуществляется выделение и отображение вспомогательных подпроцессов и определение их зависимостей и взаимовлияния друг на друга и целевого предназначения.

Процессный подход дает представление о взаимосвязи процессов и подпроцессов, выполняемых в системе, влиянии их на выполнение главной задачи системы, эффективности функционирования организации, позволяет устранить разрывы цикла управления, а также определить наличие взаимовлияния процессов друг на друга.

Последовательность действий, характеризующих выполнение процесса системы во времени является регламентом. Современные подходы к разработке и использованию регламентов с системах не учитывают взаимосвязи и взаимовлияние процессов,

происходящих в системы, а выступают как обособленные совокупность действий и интервалов времени их выполнения, что нарушает требование стандартов ISO 9001. Кроме этого, регламенты носят рекомендательный характер, что для системы и организации, в которой выполнение регламента связано с главной целью функционирования, не приемлемо. Одна из таких методик, приведенная в [103] предлагает ведение перечней процедур, результатов, работ, лиц их выполняющих и т.п. Возникает потребность на основе процессного подхода и функционального управления разработки таких процедур и математических подходов, описывающих процесс функционирования ИУС АН, определяющих взаимосвязи между его элементами и влияния на процессы в системе и главную цель.

## 2.2. Развитие систем управления. Автоматизация процесса управления

Состояние научно-теоритическое управленческой деятельности имеет большой задел, сложившийся в течении последнего столетия. Развитие и севершенствование научной мысли в области управленческой деятельности происходит в условиях глобальных политических изменений, внедрения роботезированных систем и искуственного интеллекта, при этом строятся они на базе принципов и методов, сформированных классиками различных научных школ и течений. Для раскрытия методов анализа систем управления необходимо рассмотреть условия развития управленческой деятельности, критериев ее эффективности и подходов к ее оценке.

Управленческая деятельность представляет собой сложное явление, которое рассматривается разными авторами с нужной им стороны, опираясь на фундаментальные концепции, теории, методы исследования, методики и модели, а также требования к исследуемым объектам. Основой для изучения систем управления в законы, закономерности, категории, являющиеся предметом изучения различных дисциплин таких как экономика, социология, кибернетика, менеджмент, психология, педагогика, философия и т.д., каждая из которых имеет свои базовые понятия, положения, язык.

Рассмотрение процесса управления через систему управления является достижением современной науки. Это обуславливает необходимость учета многофакторности проявления процесса управления через взаимоотношения структурных элементов объекта управления друг с другом, а также взаимодействия их и самой системы с другими внешними системами. Процессы управления присутствуют в различных сферах жизни общества и реализуются, например, через социальные, технические, сложные, динамические, иерархические, самоорганизующиеся, саморазвивающиеся, многоцелевые и

другие системы управления. Рассматривая любую систему управления можно с большой долей вероятности говорить, что она обладает уникальностью, целенаправленности, способностью к адаптации, развитию, обучению и т.д. В качестве системных элементов системы управления можно выделить цели, функции, задачи, ресурсы, процессы, организационную и функциональную структуру, системообразующий механизм, персонал, технические средства управления.

Традиционно преобладают два подхода, описывающих структуру и процесс функционирования систем управления: основанный на структуре системы и основанный на выполнении ее функций. Разные авторы представляют систему управления в виде подсистем, таких как целевые, функциональные, обеспечивающие, механизм управления, процесс управления, механизм развития, информационная система, техническая база, технические средства обработки информации, люди, функции, методы, техники и технологии управления и т.д. [104, 105, 106]

Рассматривая ИУС необходимо учитывать степень взаимодействия объекта и субъекта управления. Несомненно, система управления имеет определяющую роль, как исходный самообразующийся элемент. Большое значение имеют подсистемы, обеспечивающую функционирования системы управления, позволяющие ей выполнять свое предназначение. Возможности СУ по реализации управленческих воздействий, принципы и особенности ее построения будут опреелляться различными факторами, такими как ее структура, особенности взаимодействия с внешней средой и внутренними элементами, подсистемами. Знание о состоянии объекта управления, его параметрах и характеристиках, его элементах способствует повышению эффективности функционирования СУ. Увеличение знаний об объектах управления, которые развиваются и совершенствуются, становится одним из основных направлений совершенствования и развития ИУС, что на современном этапе развития техники имеет важное значение, по причине постоянного совершенствования объектов управления. Наряду с этим для более эффективного управления требуется формирование база данных и баз знаний, с одной стороны позволяющих хранить большие объемы данных об объектах и субъектах управления, с другой стороны – получить быстрый доступ к этим данным в кратчайшие сроки. В кибернетике У.Р. Эшби [107] существует закон соответствия управляющей среды разнообразию управляемого объекта, в соответствии с которым увеличиние онформации об объекте управления и учета процессов в нем снижает неопределенность его поведения для ИУС.

Ниже более подробно рассмотрим развитие систем управления их автоматизации и совершенствования управленческой деятельности и.

Развитие теоритической мысли управления в многих работах закрепляли на понятийном уровне критерии эффективности процесса управления. Исследования в области управления были направленны на разработку и совершенствование способов и методов эффективного реагирования на происходящие в системе и окружающем пространстве события, влияющие на устойчивое ее функционирование. Были разработаны принципы управления, правила управления, следование которым позволили бы организации, системе обеспечивать устойчивость функционирования. В современной науке имеет место мнение, что управление – это искусство. Предлагается помимо традиционной технологии историко-критического анализа, производить реконструктивный анализ изучаемых теорий и подходов к критериям анализа систем управления, что позволит привести к одному основанию содержательные акцентировки различных авторов на эффективность и результативность систем управления, проследить процесс формирования современных теорий [64].

Анализ работ в области управления позволил выделить три направления развития научной мысли: системный, процессный, количественный и ситуационные подходы, школы человеческих отношений и административная, а также научный менеджмент [64].

Ф.У. Тейлор рассматривал управление как философское понятие, которое сводится к единству четырех основных принципов: выработка истинных научных основ производства, научный подбор рабочих, их научное обучение и тренировка, тесное дружественное сотрудничество между администрацией и рабочими».

Развитие учения Тейлора легло в основу школы научного управления, включающую систему контроля трудовых функций и операций. Представителями данной школы выступали Г. Гантт, Л. Гильберт, Ф. Гильберт и Ф.У. Тейлор. Мотивирующие факторы рабочих, создание организаций взаимодействия рабочих и работодателя, внесение в управленческую деятельность технологий нормирования выполняемых операций, создание и совершенствование практики поощрения работников за выполнение конкретных заданий, внедрение эффективных правил использования орудий труда, внедрение системы повышения квалификации работников являются критериями оценки и повышения эффективности систем управления в этой школе.

Представителями классической (административной) школы являются М. Вебер. Э. Дюркгейм, Дж. Д. Муни. В. Парето, А. К. Рейли, А. П. Слоун, Л. Уирвик. Г. Эмерсон. Г. Форд. А. Файоль и др. В работы этой школы направлены на разработку методов, методик и способов совершенствования системы управления в целом. А. Файоль подразумевал под управлением возможность предвидеть, организовывать, координировать и контролировать [108]. Он подчеркивал важную роль административной установки деятельности

руководителя в эффективности управления по сравнению с другими типами установок: технической, коммерческой, финансовой, страховой и учетной.

В этой школе основными принципами управления, позволяющим обеспечивать эффективное функционирование СУ, стали разделение труда, делегирование управленческих функций части подчиненных, дисциплина, ответственность, единство цели системы, приоритет общественных интересов системы над личными, стимулирование работников, централизация, справедливость, стабильность, инициатива и т.д.

Стремительное развитие медицинских, социологических и психологических наук способствовало возникновению школы человеческих отношений. Человеческий фактор в системе становится основным объектом исследования данной школы, человека рассматривают как основной и главный фактор обеспечения эффективности функционирования системы, организации. Яркими представителями этой школы являются Э. Мэйо, Ф. Ротлисбергера, С. Гарнера, У. Уорнера. Т. Уайтхеда, В. Диксона, М. П. Фоллет, А. Маслоу, О. Шелдона. Ч. Бернарда и Х. Мюнстерберга. В учениях других школ человеческий фактор тоже учитывался, но с точки зрения выявления, изучения функциональных отношений между работником и организацией, экономических аспектах, стимулировании увеличения производительности труда и т.д.

М. П. Фоллет была первой, кто определил менеджмент как «обеспечение выполнения работы с помощью других лиц». Э. Мэйо повлиял на замену концепции «рациональный рабочий" концепцией социальный рабочий» [64].

Теоретики этой школы определяли эффективность управленческой деятельности в целенаправленной деятельности руководителей по формированию эффективного, сплоченного трудового коллектива, взаимоотношений в нем, поощрении межличностных контактов, создании благоприятных условий труда, заботы о подчиненных. По мнению Э. Мэйо управление достигает успеха или терпит неудачу в пропорции, в какой оно без оговорок принимается группой как власть и руководитель [109, 110]. Представители этой школы занимались исследованиями влияния лидерства, личного и межличностного общения, значение коллектива и его влияние на производительность труда, удовлетворенность персонала от проделанной работы, природы человеческих мотивов, побуждающих к действию, на эффективность управленческой деятельности.

Популяризация идей школы человеческих отношений, развитие смежных наук повлияли на развитие во второй половине 20 века бихевиористического или поведенческого направления. Представители этого направления К. Арджириса. Р. Лайкерта. Д. МакГрегора. Ф. Герцберга. Р. Блэйка. Д. Моутона, Э. Шейна и др. занимались исследованием социального взаимодействия и коммуникаций в системе. На первый план выдвигались

вопросы влияния личности управленца, его авторитета на эффективность управленческой деятельности и самой системы, поведенческих стереотипов, человеческой мотивации, лидерства, влияния содержания работы и условий труда на эффективность управления и функционирования системы. Ф. Герцберг считал, что воплощение потребностей человека радоваться от осмысления своего существования – это основная функция любой организации [64, 109]. Если работник с удовольствием приходит на работу, выполняет свои обязанности, то результат его деятельности будет высоким.

Количественной оценкой эффективности управления на основе применения научного подхода к процессу управления. построенной на основе математических уравнений, описывающих функционирования системы и процессы в ней, занимались К.У. Черчмен, Р.А. Акофф, Е.Л. Арноф, Д. Марча, Г. Саймон, В. Врум. Представители данного направления на основе количественных и математических методов научного познания занимались изучением проблем управления. Согласно их исследований эффективность управления основана на поиске и использовании рациональных схем построения системы, ее деятельности, планировании и принятии решения. Руководитель разрабатывает и использует модели деятельности организации, функционирования системы, характеризующих реальную систему и процессы в ней, структурирует сложные проблемы, оптимизирует количество элементов в них.

Процессный подход в управлении представляет собой процесс выполнения определенной совокупности действий, направленных на достижение цели системы. Процесс представляет собой совокупность всех действий, как правило, управленческих, представляющих собой функции управления, выполнение которых позволяет достигать цели системы. А. Файолем был рассмотрен общий процесс управления, включающий функции планирования, организации, распоряжения, контроля, координации. По Демингу управление представляло собой цикл, включающий четыре этапа: планирование, реализация, проверка, исправление. Его видение развивал Шухарт, предложив вместо проверки-контроля системы использовать действие – изучения. В настоящее время в развитии теории управления нет единого мнения по отношению функций управления, применяемых к процессу управления или другим сферам деятельности системы. Обзор современной литературы позволяет собирательно представить управление как процесс планирования, организации, распорядительства, мотивации, руководства, координации, контроля, коммуникации, исследования. разработки и внедрения инноваций, маркетинга, оценки, принятия решений, подбора персонала, представительства и др. [64]. В процессном подходе поиск и реализация такой последовательности действий в системы позволяющей

достигать главную цель с требуемой эффективностью являются критерием оценки процесса управления.

Ч. Бернард, П. Друкер, Э. Атос, Р. Паскаль, Т. Питерс, Р. Уотермен, К. Болдинг, Ф. Каст, Д. Розенвцейг и др. занимались исследованием системного подхода в управлении, который характеризовался учетом влияния внешних и внутренних факторов, взаимосвязи и взаимовлиянии управления и других аспектов деятельности оргпнизации.

Ч. Бернард определял организацию, как систему сознательно скоординированных действий, в которой руководитель является самым важным стратегическим фактором. ...Руководитель может достигнуть превосходных результатов в своей работе, только выполнив три условия: обеспечив систему коммуникаций, предприняв усилия, необходимые для действия системы, сформулировав и определив цели [64, 109, 110].

К. Болдинг рассматривал системный подход не как набор каких-то руководств или принципов для управляющих, а как способ мышления по отношению к организации и управлению [109]. Системный подход определяет эффективность управления, как комплексный показатель, учитывающий взаимосвязи в системе, отрицательные факторы, действующие на управленческие решения.

Учет влияния внешних и внутренних факторов в системе, наличие которых случайно и обусловлено состоянием системы в любой момент времени нашли отражения в оценке эффективности управленческой деятельности в ситуационном подходе. Он является развитием теории систем. Научным обоснованием данного подхода занимались Т. Берне, Г. М. Сталкер, П. Лоренц, Д. Лорш, Д. Вудвард, Д. Томпсон, Ф. Лютанс, С. М. Ли. Д. Л. Олсон и др. Эффективность и качество управленческих решений определяется поиском и выбором подхода, позволяющего с большей эффективностью в данной ситуации, обеспечить функционирование системы, решение задач, выполнение функций. В соответствии с ситуационным подходом эффективный руководитель должен знать, уметь использовать средства и методы управления, а также применять их на практике в конкретных ситуациях, прогнозировать изменение состояния системы под действием различных факторов и управляющих воздействий. При этом, система должна достигать заданной цели с максимальной (требуемой) эффективностью и минимальными отрицательными эффектами для нее.

Долгое время управление системами, организациями, эффективность его рассматривались с точки зрения взаимодействия человека с организацией, человека с человеком и создания условий для труда человека. Современная наука, технологии, производство невозможно без технических средств, управление которыми осуществляет человек или техническая система. Увеличение количества разнородных элементов, задач,

функций которые они выполняют обуславливают необходимость рассмотрения таких систем как сложных технических, при этом человек, персонал здесь может выступать уже как элемент, значение которого может быть не больше значения технического средства в системе.

Результаты анализа подходов к управлению в организациях, системах показали, что существует противоречие между теоритической проработкой вопросов управления и практическим их применением. Совокупность современного теоритического аппарата теории управления и смежных дисциплин представленные в виде совокупности методов, моделей, методик, способов, правил в большинстве случает доведенные до технологий использования в различных ситуациях часто не востребованы на практике, по причине не способности их использовать и адаптировать под конкретную ситуацию, появление которой обусловлено с одной стороны действиями на систему различных факторов, а с другой стороны потребностью постоянного совершенствования системы.

Несмотря на существование различных подходов к управлению, научных школ анализ теории управления показал отсутствие единой системы методологических принципов, критериев оценки эффективности управленческой деятельности и систем управления. Теоритические основы управления описывают частные вопросы управления, позволяют решать отдельные задачи. Разнообразие и множество моделей, методов, методик, правил, способов, являющихся основой современной теории управления не всегда позволяют обеспечить выполнение старых и новых требований, предъявляемых к системам, а также использовать их на практике, что определяет необходимость исследования и проработки вопросов исследования подходов к анализу управленческой деятельности, разработки и практического применения единой методологии, позволяющей обеспечить устойчивый процесс управления и функционирования системы. На основе теоритических выкладок ученых управленцев должны формироваться технологии практического применения их в системах.

Развитие научных подходов в управлении: поведенческие науки количественный подход, системный подход, ситуационный подход являются в настоящий момент основными направлениями управленческой мысли, каждое из которых стало существенным этапом в эволюции развития теории и практики управления в XX в. и необходимы при разработке современных систем управления. Проведем анализ внедрения данных подходов в эволюцию систем управления.

**Развитие систем автоматизации управленческой деятельностью**

Рассмотренные выше теории, наряду с учетом действий, взаимодействий, взаимовлияния человека и системы, работников и руководителей, могут описывать,

проектировать процессы взаимодействия и взаимовлияния человека и технических средств системы, руководителя и технических средств, технических средств и технических средств. Возникает необходимость наряду с созданием условий труда человека создания условий устойчивого, безотказного и надёжного функционирования системы и ее элементов, а также обеспечения их эффективной работы. Функционально устойчивая система способна обеспечениь выполнение заданного набора функций и задач и достижение цели ее функционирования. Идеи создания функционально устойчивых, безотказных систем появились в середине прошлого века в космической отрасли, что обусловлено критическим влиянием элементов системы на выполнение ее целевого предназначения. Традиционные методы отказоустойчивости систем связаны с ресурсным обеспечением ее функционирования, а точнее его избыточностью [111, 112, 113]. Объектом управляющих воздействий сложной технической системы становиться система и ее технические элементы, при этом, такое воздействие должно обеспечивать устойчивость функционирования средств для обеспечения выполнения цели системы. Вопросами обеспечения устойчивости функционирования систем в своих работах занимались: Рябинин И.А. [115, 116], Дружинин Г.В. [117], Крапивин В.Ф. [118], Тарасов А.А. [111], Бородакий Ю.В., Флейшман Б.С. [119, 120], Кривощеков С.А. [121, 122], Растригин Л.А. [123, 124], Додонов А.Г. [124-128], Турута Е.Н. [129-132], Семашко А.Н. [133], Подлесный Н.И. [134, 135], Перегуда А.А. [136, 137], Коваленко А.Е., Гула В.В. [138], Торгашев В.А. [139], Богатырев А.Е. [140], Шубинский И.Б. [141] и др. Авторы этих работ рассматривали вопросы создания и применения методов описания функционирования сложных технических систем в условиях воздействия различных факторов, приводящих к нарушению функционирования системы и ее элементов, моделей живучести и отказоустойчивости систем управления, энергетики, управления ресурсами, защитой элементов систем от нарушения функционирования, методов, способов, механизмов восстановления работоспособности систем.

Увеличение количества элементов систем, функций и задач которые они выполняют, а также в которых они участвуют, интенсивность развития технологий и масштабов промышленного производства, уменьшение элементной базы с увеличением ее возможностей, внедрение ЭВМ во все сферы жизни общества, наряду с необходимостью обеспечения их устойчивого, безотказного функционирования, послужили основой для разработки автоматизированных систем управления (АСУ), использование которых позволило изменить процесс управления и функционирования систем, повысить их эффективность.

**Анализ совершенствования управленческой деятельности и развития систем**

**управления**

Развитие современного общества, технический прогресс, усложнение систем, а также критическая зависимость отдельных систем, объектов и их элементов от других систем, объектов и их элементов, появление новых и многообразие различных дестабилизирующих факторов способствует формированию более жестких требований к таким системам и объектам по устойчивости, быстродействию, возможности получать, обрабатывать и принимать решение в режиме реального времени с соблюдением требований к достоверности, полное сведений о системе и своевременности реагирования на ситуации. Все это требует совершенствования управленческой деятельности и развития систем управления, создания новых перспективных систем управления, позволяющих автоматизировать процесс управления.

Человек, участвующий в процессе управления, может выполнять различные роли, такие как [142]:

**исполнители** нижних звеньев управления, решающие достаточно простые и мало изменяющиеся задачи управления;

**руководители среднего звена**, решающие более сложные и существенно изменяющиеся задачи управления. Эти задачи управления отличаются полнотой информации об условиях и способах управления;

**руководители высших звеньев управления**, решающие наиболее сложные и часто изменяющиеся задачи управления. Эти задачи отличаются неполнотой и неопределенностью информации об условиях и способах управления.

В зависимости от статуса человека в системе могут существенно отличаться инструменты реализации управленческих

В зависимости от уровня управления системы автоматизации управления можно разделить на [64]:

системы обработки данных;

системы поддержки принятия решений;

информационно-управляющие системы.

Системы обработки данных используются, как правило, для решения хорошо формализованных задач, порядок выполнения которых описаны известными алгоритмами действий. Решение задач регламентировано для определенного набора известных ситуаций состояния системы. Выполнением таких задач, как правило, занимаются исполнители низших звеньев управления, обслуживающий персонал [143]. Решение таких задач осуществляется в соответствии с заранее установленными правилами, в условиях жестких ограничений возможных действий, большой детализации операций (как правило,

количество которых небольшое), малая степень риска, программируемость. Такие системы чаще используются для управления технологическими процессами, вооружением.

Системы поддержки принятия решения (СППР) используются для решения неструктурированных задач, которые не имею четко определенных алгоритмов решения. Используются такие системы, как правило, руководителями высшего звена при управлении большими системами, большим количеством элементов, распределенных на значительном расстоянии друг от друга, группировками войск. Характерной особенностью таких систем является большая неопределенность последствий того или иного действия (риск), творческий подход в решении задач, широта взгляда на ситуацию. Перспективным для развития таких систем является внедрение методов искусственного интеллекта.

Информационно управляющие системы (ИУС) используют для решения задач, которые хорошо формализованы. Для таких систем существует возможность решения неструктурированных задач. Как правило, таки системы эксплуатируют должностные лица средних звеньев управления. Использование таких систем осуществляется, как правило, для управления организацией в оперативно-тактическом и тактическом звеньях. Особенностью таких систем является функционирование их в интересах вышестоящей системы, звена управления, поэтому они используются для контроля задач в интересах вышестоящего уровня, достижения поставленных целей, оценки результатов выполнения действий, администрирования (установления правил действия в различных ситуациях).

Системы автоматизации управленческой деятельности принято называть процессными АСУ. При этом различают [64]:

АСУ ТП, что соответствует системам обработки данных и решает задачи оперативного управления и контроля техническими объектами в промышленности, энергетике, на транспорте;

АСУ П, что соответствует ИУС и решает задачи организации производства, включая основные производственные процессы, входящую и исходящую логистику, осуществляет краткосрочное планирование с учётом производственных мощностей, анализ качества продукции, моделирование производственного процесса;

ОАСУ (отраслевая АСУ) или ОГАС (общегосударственная АС), что соответствует системам поддержки принятия решений;

АСУП Автоматизированная система управления предприятием или для решения этих задач применяются MRP, MRP II и TRP-системы.

АСУД Автоматизированная система управления дорожным движением или – предназначена для управления транспортных средств, пешеходных потоков на дорожной сети города или автомагистрали

АСУ УО Автоматизированная система управления уличным освещением – предназначена для организации автоматизации централизованного управления уличным освещением.

Использование современных АСУ не гарантирует обеспечение оптимального процесса функционирования управляемого объекта, и часто, позволяет сформировать только рациональный вариант действий в той или иной ситуации. Причиной этому, как говорилось выше, может быть множество факторов, и все они могут быть связаны с информацией о состоянии объекта, детализации его элементов, о внешней среде, учете множества параметров, контроль и оценка которых может иметь свои особенности, особенностях объекта управления, а также других факторах. Наряду с выбором оптимального и наиболее эффективного варианта реализации управленческих воздействий существует различное толкование понятия АСУ для различных отраслей промышленности и сфер жизни общества вызывает ряд противоречий в понимании АСУ, что не позволяет разработать общую научную и методологическую базу для АСУ. Кроме этого существуют АСУ специального назначения, предназначенные для решения ограниченного набора специальных задач, иногда не связанных с классическими задачами, которые решает АСУ, что определяет особенности и структур построения таких систем.

Современные системы обработки данных имеют хорошо развитую теоритическую базу и нашли широкое применение на практике. Вопросы их разработки, оптимизации, практического применения достаточно проработаны. Развитие СППР получило большой толчок в последнее десятилетние, это связано с усложнением систем, ужесточением требований, предъявляемых к ним, цифровизации различных сфер жизни общества, а также широким изучением и внедрением технологий искусственного интеллекта. При этом в практическом внедрении СППР существует множество проблем. Наряду с развитием СППР активно развиваются ИУС, в основе которых лежат быстро прогрессирующие достижения в теории их проектирования, оптимизации и практического применения.

Более подробно рассмотрим ИУС, применение которых с каждым годом растет.

а) особенности ИУС

В процессе эксплуатации таких систем человек решает следующие задачи [144]:

постановка и корректировка целей и критериев эффективности автоматизируемой деятельности (они могут меняться при изменении влияния внешней среды);

внесение творческого элемента в поиск наилучших путей достижения поставленных целей (в том числе решительное изменение способов и методов деятельности - технологии всей управленческой деятельности по достижению целей);

окончательный отбор вырабатываемых системой решений и придание им

юридической силы;

снабжение системы первичной информацией, сбор которой невозможно или нерационально полностью автоматизировать;

широкое использование систем, сетей связи, передачи информации и данных.

б) задачи и модели ИУС

Основными задачами, для решения которых используются ИУС являются: информационные, расчетные, комплексные задачи и моделирование.

Информационные задачи решаются путем сбора и обработки информации о состоянии системы и ситуации в которой она находится и формировании предложений ЛПР. Результаты решения таких задач, как правило формализуются в виде массивов данных, справок.

Расчетные задачи направлены на вычисление значений различных параметров, необходимых для принятия решения. Расчеты производятся по известным методикам, заложенным в ИУС. Результаты расчетов предоставляются в виде значений параметров, массивов данных, таблиц, графических образов.

Процесс моделирования, представляет собой наборы математических моделей, средств имитационного моделирования, формирующих имитационные модели. Математические модели представляют собой наборы математических зависимостей и логических правил Модели в той или иной степени полноты описывают объект, процессы в нем, позволяют прогнозировать поведение объекта, процессов в той или иной ситуации, в зависимости от исходных данных, а также оценивать эффективность реализации тех или иных действий, решений.

Комплексные задачи представляют собой совокупности информационных и расчетных задач, моделей логически и информационно связанных друг с другом по:

предназначению; оперативным постановкам; критериям эффективности; входным и выходным данным; и другим параметрам.

в) подсистемы ИУС

Современные ИУС наряду с объектами их управления, как правило, являются сложными техническими системами, поэтому их описание и изучение возможно при разбиении их на структурные элементы. Деление ИУС на элементы может осуществляться в зависимости от выполняемых ими задачам и функций, элементов объекта управления, предназначения объекта и его элементов и т.д.

г) архитектура ИУС

Для анализа и синтеза больших систем управления прибегаю разделению систем на элементы (подсистемы), исследуют множество структур системы, взаимодействия их друг с другом [145].

Архитектура ИУС является комплексным понятием и включает следующие виды взаимосвязанных структур: физическую; логическую; программную; функциональную. Каждая структура определяется набором элементов и характером их взаимодействия. Связь структур друг с другом и образует архитектуру рассматриваемой системы управления. Существуют другие структуры, которые могут быть характерны для ИУС: обслуживания, обеспечения, ремонта, информационная, административного управления и др.

Элементами физической структуры ИУС являются физические объекты системы-технические средства: интегральные схемы, блоки, стойки, ЭВМ или их комплексы. Физическая структура показывает наличие ресурсов в системе, что позволяет определить х характеристики и возможности их взаимодействия и использования для выполнения функций и задач ИУС.

Элементами логической структуры ИУС являются логические элементы, осуществляющие основные операции ввода, хранения, передачи, обработки или выдачи массивов информации. К таким элементам относятся: операционная система, коммуникационные программы (протоколы), базы данных и другие логические элементы системы. Исследование логической структуры позволяет рассмотреть логику функционирования всей системы, исследовать процессы, связанные с обработкой потоков информации, а также определить логические ресурсы всей системы.

Элементами программной структуры ИУС являются взаимосвязанные программы: процесса обработки информации, доступа к этому процессу, диагностики неисправностей оборудования, передачи информации, управления каналами связи и др. Взаимодействие элементов программной структуры обеспечивает выполнение задач управления

Элементами функциональной структуры ИУС являются совокупности прикладных задач управления, комплексов этих задач, функций, комплексов функций, имеющие одинаковую целевую направленность.

Деление ИУС в зависимости от функций ее подсистем осуществляется на основании их предназначения и предназначения их элементов для решения задач автоматизации управленческой деятельности. Рассматривают два типа систем: функциональные и обеспечивающие [146].

Процесс управления подлежит автоматизации, поэтому при проектировании и построении системы функции управления учитываются в техническом задании. Это делается на основании целей системы, требуемого перечня функций и задач которые она

должна выполнять, а также ее ресурсного обеспечения и требуемой эффективности ее функционирования. Функциональная структура представляет собой объединение функциональных элементов системы для выполнения ее целевого предназначения. Они представляют собой, в основном различные модели, комплексы моделей и задач, вместе с их информационным обеспечением, позволяющих автоматизировать процесс управления на всех уровнях иерархии системы.

Множество функциональных подсистем ИУС, характеризующих выполнение ее функций формируют модель системы, представляющую собой информационно-математическое отображение взаимосвязей элементов системы во времени и пространстве.

Сложность в построении глобальной системы управления определяет необходимость декомпозиции модели на функциональные подсистемы, по следующим знакам [147]:

циклам или периодам управления (для ослабления требований к динамическим свойствам модели);

функциям управления (для ослабления требований к нелинейным свойствам моделей), которые учитывают особенности математической структуры моделей объекта управления, т. е. общность целевой направленности управления;

уровням иерархии управления, учитывающие особенности иерархического построения системы, и обеспечивающие решение всех задач автоматизации управления различных звеньев иерархии управляемого объекта.

По циклам или периодам управления подсистемы можно разделить на: прогнозирования развития объекта; организации структуры объекта; перспективного планирования объекта; текущего планирования деятельности объекта; оперативного управления объектом; учета, контроля и анализа деятельности объекта. Существенное отличие этих подсистем по динамическим требованиям к реализуемым в них моделям управления позволяют создавать отдельные подсистемы ИУС, отличающиеся быстродействием, что удешевляет создание, эксплуатацию и применение ИУС.

По функциям управления подсистемы можно разделить на: управления основным процессом; управления вспомогательными процессами; управления материально-техническим обеспечением; управления персоналом; управления финансами; управления развитием системы управления и др. [147].

Для одного уровня иерархии подсистемы можно разделить на [147]:

функциональные подсистемы для автоматизации управленческого труда одного человека (руководителя, должностного лица) или автоматизированными рабочими местами;

функциональные подсистемы для автоматизации управленческого труда отдельных органов управления или рабочих групп.

Подсистемы ИУС в по уровням иерархии могут включать элементы подсистем по циклам управления и по функциям управления, тогда такие подсистемы называют организационно-функциональными, к которым относятся:

подсистемами ИУС на высших звеньях управления, которым свойственно принимать решения;

подсистемами ИУС на низших звеньях управления, которым свойственно непосредственно исполнять принятое решение.

подсистемами ИУС на промежуточных звеньях управления, которым свойственно обеспечивать исполнение низшими звеньями управления, принятого высшими звеньями управления решения и др.

Любая реальная АСУ является одновременно информационной и частично интеллектуальной. Выделяют два крайних варианта интеллектуальности ИУС. В первом варианте рассматривается условно идеальная система в которую поступают и хранятся все первичные данные. Пользователи формируют себе информационную среду в рамках работы с данными и решения общеинженерных инструментов. В этом случае система обладает высокими техническими и предельно низкими потребительскими характеристиками. Во втором варианте пользователи получают только ту информацию, которая обеспечивает выполнение ее производственных функций. Для таких систем характерно использование большого количества интеллектуальных ресурсов для создания и обеспечения функционирования.

Объем необходимой информации для системы можно называть полезной информацией, однако объем реальной информации в системе, как правило, больше, избыток информации будем называть грязной информацией. Наличие такой информации в системе приводит к потерям и задействованию дополнительных ресурсов на ее обработку, хранение и т.д. Усилий, затрачиваемых системой на поддержания чистых массивов данных требуется не меньше того выигрыша, который получится за счет процессов управления функционированием объекта управления. Постепенный переход от первого варианта ИУС ко второму будет сопровождаться увеличением количества грязной информации, что будет требовать больших затрат на их устранение. Изменение будет происходить по экспоненциальному закону. Чтобы система функционировала с заданными характеристиками требуется переход на качественно другие показатель, характеризующие построения баз знаний, усложнение структуры, учет большей степени контакта с

окружающей средой, повышение уровня управляемости системы, обеспечение устойчивости к различным воздействиям.

Новые знания. Используются знания постклассических наук о больших системах и знание природы мышления человека как объекта автоматизации. Обязательной частью ИУС является совокупность имитационных моделей производства, симулирующих отдельные стороны его жизни, важные для создания, проектирования большой ИУС.

Усложнение структуры. Современные ИУС можно разделить на измерительные и аналитические модули, пользовательские автономные подсистемы и общие информационные шины данных, которые являются интеллектуально самостоятельными.

Большая управляемость. Она обеспечивается не только за счет использования современных баз данных, и разработки специализированных программных модулей, но и за счет того, что необходимым компонентом ИУС становится регламент производства.

Большая контактность с внешней средой. Представленные выше факторы обеспечивают повышение контактности. Для данного фактора существенным является рациональная степень автоматизации системы, организации, предприятия. Автоматизация требует материальных затрат, что должно быть всегда обоснованно.

Большая устойчивость. Все это слагается в большую систему с нелинейной архитектурой - систему, способную к регенерации условиях изменчивой внешней и внутренней среды.

Развитие эволюционирующих АСУ и внедрение системного и процессного подхода привело к активному внедрению ИУС, что вызвало изменение основной парадигмы управления, где основой являлся человек, и он управлял техникой. В ИУС человек управляет системой управления, а система в свою очередь управляет входящими в нее техническими, людскими ресурсами и самой управляемой системой. На этапе проектирования и построения системы оцениваются риски нарушения ее функционирования, что показывает надежность системы, однако влияния этих факторов в процессе функционирования носит случайный характер, что может привести к возникновению конфликтной ситуации, которая может привести нарушению функциональной устойчивости системы.

## 2.3. Ресурс системы и управление им

Организация любого процесса, независимо от его вида и предназначения требует определенного ресурса. Сущность организации процесса функционирования систем в общем случае, заключается в объединении материальных и нематериальных ресурсов (в

первую очередь различных технических средств и людей) в единую взаимосвязанную структур, определения задач для каждого элемента, распределения функций, прав, обязанностей, таким образом, чтобы система могла выполнить требуемую цель, множество целей. При организации процесса функционирования системы, ее построения и проектирования ведущую роль играет процесс управления.

Понятие построение включает два основных направления деятельности человека связанные с мыслительной деятельностью и ее практической реализацией.

Построение системы происходит в процессе управленческой деятельности различных органов, подразделений, отделов, людей. Рассмотрим более подробно термин управление. Управление осознанно или не осознано в человеческом обществе было всегда. Сначала это было управление животными, людьми, потом с развитием цивилизаций и появлением различных приспособлений и сложных систем управление стало распространяться помимо людей на новые средства, системы. Любая целенаправленная деятельность человека, общества, системы включает процесс управления на всех этапах выполнения данного процесса, жизнедеятельности системы, объекта. Появление совместного труда в человеческом обществе определяло потребность в согласовании действий элементов общества для получения желаемого, требуемого результата, что способствовало совершенствованию процесса управления. Способность определять целевую функцию (их множество) системы и способствовать ее (их) достижению является основной особенностью, задачей процесса управления в системе, в отличии от функций и задач отдельных ее элементов, выполнение которых может быть хаотическим [148].

Первоначально управление означало умение объезжать лошадей и ими править (от англ. *manage* - управлять происходит от корня латинского слова *manus* - рука). Затем этим термином стали обозначать умение владеть оружием, после - управлять боевыми и иными колесницами и так далее [149].

Современное трактованные термина управление имеет широкое значение и связано, в первую очередь, с руководством или организацией какой-либо деятельности, действия, процесса [150-164].

Обобщая различные определения термина управления можно сформулировать его, как одну из основных функций любой сложной технической системы по организации, обеспечению и руководством процессом функционирования системы выполнение, которого направлено на достижение системой требуемой цели, целевого предназначения в условиях изменяющейся обстановки.

Современная методология исследований и изучения различных сложных объектов для которых определена цель их функционирования и элементы которых имеют

определенные связи обеспечивающих выполнение этой цели, определяет необходимость рассмотрения таких объектов как систему.

Понятие система для различных отраслей науки, промышленности, общества и т.д. имеет разное значение, при этом, общим для них всех является объединение множества элементов, находящихся в определенной связи и единении, образующих единую целостность, для обеспечения выполнения определенных целей, работ [146-164].

В результате анализа и обобщения определений, содержания исследований, представленных в фундаментальных Э. Г. Юдина, Н И. Кондакова, В. Г. Шорина, А. Н. Аверьянова, В. Г. Афанасьева позволили прийти к следующим выводам [149] система есть нечто целое, представляющее собой объединение подсистем, элементов, объектов, других систем и т.д. и предназначенное для выполнения определенного целевого предназначения.

Процесс управления и функционирования системы требует определенный ресурс. Под ресурсами могут пониматься запасы, источники чего-нибудь; средство, к которому обращаются в необходимом случае [156].

Ресурсы (от фр. ressource) – источник покрытия нужд, потребностей, характеристика созданной людьми продукции.

Ресурсы – различные средства и возможности, необходимые для организации и поддержания какого-либо процесса.

Ресурсы могут быть материальные и нематериальные.

Материальные ресурсы систем можно рассмотреть в следующей классификации:

1. организационные

объекты интеллектуальной собственности, патенты, свидетельства на полезные модели, программы для ЭВМ и т.д.;

технологии;

инфраструктурные продукты – базы данных, базы знаний, IT – системы и т.д.;

2. финансовые:

деньги;

ценные бумаги;

кредиты и т.д.;

3. физические

земля (участок), здание;

технические (средства);

трудовые (люди – работники) и т.д.;

К нематериальным ресурсам можно отнести:

1. информационные:

недокументированные (знания);

документированные (различные документы, фото и видео материалы);

услуги;

2. человеческие ресурсы:

способности персонала;

коллективные знания и умения;

образование, навыки, практический опыт, квалификация работников и т.д.

Несомненно, значение каждого ресурса велико и использование его определяется условиями функционирования и потребностями системы, при этом, без некоторых ресурсов построить систему и обеспечить ее функционирование невозможно. Рассматривая сложные технические человеко-машинные системы, процессы управление ими и их функционирование на первый план выходят физические ресурсы - человеческие (интеллектуальные) и технические средства, которые ниже рассмотрим более подробно.

### 2.3.1. Основы управления человеческими ресурсами

Известный американский теоретик менеджмента Питер Друкер писал: самым ценным активом компаний XX века было ее производственное оборудование. Самым ценным активом организаций XIX века, будь то бизнес или не бизнес, будут ее работники умственного труда и их производительность. Важность человеческих ресурсов в любой сложной технической системе несомненна. От того сколько его, какая у работников квалификация, образование, опыт работы, наличие навыков, умений и т.д. зависит очень многое. Все это во многом будет определять эффективность и качество процесса функционирования системы, а также способность ее минимизировать риски нарушения ее устойчивого функционирования. Вопросами эффективности использования трудовых ресурсов систем занимались И. Ансофф, В.Ф. Егоров, Т.Ю. Базарова, А.Я. Кибанова, А.М. Колот, Е.В. Маслова и др.

Рассмотреть человека, работника, как ресурс системы, ее винтик, обеспечивающий выполнение ее целевого предназначения с одной стороны оправдано, с другой стороны обезличивает специалиста и приравнивает его к другому ресурсу – деньгам, технике, зданию, участку земли, документу и т.д., что с этической точки зрения не совсем правильно. Рассмотрение же специалиста, как человека-личности определяет необходимость учета множества различных факторов, присущих человеку постоянно, таких как темперамент, наличие хронических болезней, антропометрических данных и т.д., так и возникающих периодически или под действием различных факторов, такие как состояние здоровья,

настроение, психоэмоциональное состояние, подверженность влиянию погоды и т.д. Однако все это также может повлиять на функционирование системы, выполнение ее целевого предназначения.

Под трудовым (человеческим) ресурсом понимается элемент системы – человек (работник), с присущими ему и неотделимыми от него характеристиками, которые можно рассматривать как нематериальный ресурс системы.

Концепция управления человеком в организации, «связанная с управлением трудом других людей в производстве восходит к началу человеческой истории» [165]. Данная концепция периодически подвергается пересмотру, эволюционируя от концепции использования трудовых ресурсов к управлению персоналом, управлению человеческими ресурсами, управлению человеческим капиталом.

Исторически изучение основ управления человеческими ресурсами сформировалась в русле философии. Примерами философских истоков учений могут служить диалектическое исследование сущности понятий Сократа, Органон Аристотеля, метод открытия Ф. Бэкона, рационализм Р. Декарта.

Сократ практиковал метод вопрошания с целью постижения сущности предмета: «…я спрашивал о прекрасном самом по себе, которое все, к чему бы оно ни присоединилось, делает прекрасным» Средством поиска истины выступал диалог, позволяющий разрешать противоречия, с которыми сталкивались собеседники в процессе обсуждения. [166].

Путем правильно и логически последовательно поставленных вопросов собеседник подводится к формулированию (осознания) противоречий, Сократ требовал прояснения понятий и однозначного их определения. «Эти противоречия принуждают его признать или то, что он не достиг точного и ясного понятия о свойстве, общем для различных частных факторов, охватываемых исследуемым общим термином, или то, что такого общего свойства вообще не существует и что полученное обобщение только чисто словесное и ложное» [165].

По Аристотелю инструментом (от греч. *ὄργανον* – инструмент, орудие) научного познания выступила логика, включающая применение метода прояснения, метода доказательства, приема наведения и силлогизма.

Использование метода прояснения – «расчленяя сложное на его простые элементы (мельчайшие части целого)» [167] – позволит лучше увидеть, как полагал Аристотель, отличие одного от другого. Метод прояснения Аристотель связывал с диалектикой – выдвижением посылок и противоречий: «…выдвигать положения – значит делать из многого одно… возражать же – значит делать из одного многое, ибо возражающий либо

проводит различие, либо оспаривает, с чем-то из выдвигаемого соглашаясь, а с чем-то нет» [168].

Ф. Бэкон отказался от диалектики как от метода доказательства, ограничивающего «мысль кругом традиционных ученых понятий» [169] и не позволяющего устремиться в будущее. Человеку – полагал Бэкон – наиболее свойственен последовательно применяемый метод открытия. Истинный, или правильно построенный метод Бэкон связывал с опытом. «Истинный же метод опыта сначала зажигает свет, потом указывает светом дорогу: он начинает с упорядоченного и систематического опыта, отнюдь не превратного и отклоняющегося в сторону, и выводит из него аксиомы, а из построенных аксиом – новые опыты» [170].

Д. Дьюи, анализируя вклад Ф. Бэкона в развитие прагматизма, довольно абсурдным определил понятие «совершенного метода», поскольку при его применении «можно было бы не учитывать различия природных способностей людей и все их в равной степени задействовать в производстве новых фактов и новых истин» [169].

Для Р. Декарта метод выступал необходимым инструментом для поиска истины. «Под методом же я разумею достоверные и легкие правила, строго соблюдая которые человек никогда не примет ничего ложного за истинное и, не затрачивая напрасно никакого усилия ума, но постоянно шаг за шагом приумножая знание, придет к истинному познанию всего того, что он будет способен познать» [171]. Применяя метод, подчеркивал Декарт, следует «не принимать безусловно ничего ложного за истинное и достигать познания всех вещей» [171].

Управление человеческими ресурсами заключает в себе ведущую идею, определяющую практическую деятельность менеджмента по руководству человеком в организации. Основой такого подхода является отношение организации к человеку, персоналу и рассмотрение его в качестве ресурса, капитала организации, отражающее ценность такого ресурса [172], проявляещееся как рациональные, экономически обоснованные способы управления человеком, так и человеческие факторы, подчеркивающие «значение коммуникации, обучения и развития, мотивации, культуры, ценностей и вовлеченности» [173]. Рассматривая организацию управления человеческим ресурсом необходимо учитывать воздействие и влияние на нее и персонал внешних и внутренних факторов, определяющих эффективность функционирования системы.

Значение управления персоналом как инструмента оценивается по ее пригодности и полезности для организации, а не по декларативному присутствию. Как подчеркивал основоположник инструментализма Д. Дьюи, «ценность любых инструментов, заключена не в них самих, а в их способности и работе, выявляемой в последствиях их применения»

[169].

В работах [174, 175] рассматривается трехчленная структура человеческих ресурсов: физиологический, человеческий и социальный капиталы.

Физиологический капитал создается в семье родителями и включает здоровье и физическую силу. Идея физиологического капитала принадлежит американскому историку Роберту Фогелю. Суть человеческого капитала сводится к выделению у людей их знаний, умений, навыков, мотивов и других компонентов, присущих конкретному человеку и направленных на повышение производительности труда (автор Гэри Беккер). Социальный капитал (автор американский социолог Джеймс Коулман) создается обществом, но присущ человеку-работнику и включает доверие, трудовую этику, социальные связи в коллективе и т.д.

Данный подход позволяет описывать каждого человека-работника с точки зрения ресурсов системы, ее потребностей в их использовании для функционирования и выполнения целевого предназначения. Знания и анализ трудовых ресурсов системы важны при планировании и организации функционирования системы, в первую очередь для системы управления сложной технической системой.

Работу системы с человеческим ресурсом можно разделить на этапа: при проектировании системы (построении ее для выполнения ограниченного перечня задач и функций (текущего целевого предназначения)) и в процессе ее функционирования, исходя из изменяющейся обстановки. Для примера, можно рассмотреть следующие мероприятия работы с трудовыми ресурсами: отбор кандидатов в отделе кадров организации, в подразделении, периодическая аттестация персонала, направление работников на учебу, наставничество, передача знаний и опыта на производстве и т.д.

Наличие у работников опыта, образования, квалификации, навыков, умений выполнять определенные операции, действия определяют качество функционирования системы, а иногда и возможность ее функционирования.

Наличие в системе материального трудового ресурса с одновременным отсутствием у него соответствующих умений по эксплуатации технических средств, выполнению определенных работ и т.д. могут привести к невыполнению системой своего целевого предназначения. Наиболее критичным наличие таких умений является при выполнении задач принятия решений. В зависимости от задачи, условий функционирования системы, навыков, опыта и квалификации специалиста продолжительность времени принятия решения должностным лицом может составлять от нескольких секунд до нескольких часов, что определяет необходимость ранжирования задач и функций системы по значимости для выполнения ее целевого предназначения в процессе функционирования. На выполнение

задачи также влияет иерархичность системы и установленные в ней правила согласования действий и принятия решения на такие действия.

### 2.3.2. Основы управления техническими ресурсами

Технический ресурс, как правило, наряду с трудовым ресурсом является основным средством получения результатов функционирования системы.

Сложность технических систем обусловлена количеством элементов системы и связей между ними. Элементы системы могут функционировать с использование ресурсов. В качестве технических ресурса объектов КИИ, СТС выступают непосредственно сами технические средства, производные функционирования таких средств, а также результаты их совместного взаимодействия. В. М. Розин подчеркивает, что техника может рассматриваться как, с одной стороны, искусственный феномен, созданный интеллектом и практикой человека [176], с другой – как естественно социальный феномен в силу того, что техника может, в свою очередь, оказывать объективное влияние на человека, как «постав», по выражению М. Хайдеггера [177]. Б. И. Кудрин рассматривал «естественность» современной техники в ее возможности «порождать» другую технику [178]. Возможность системы за счет создания средств, подобных элементам системы и использование их в интересах системы способствует саморазвитию систем.

Несомненно, техническая среда неразрывна связана с социальной средой в той или иной мере. Снижение участия человека в процессе функционирования системы способствует автоматизации процессов, происходящих в ней. Наличие автоматизации в системе требует постоянного контроля процесса ее функционирования со стороны человека.

Техника – это прежде всего то, что представляет собой модифицированный мир природы, созданный человеком, то есть в своем сущностном проявлении и есть «вторая природа». В этой «второй природе» соединяются и естественный, и искусственный миры, но, кроме этого, в нем присутствуют и интеллект, и деятельность человека [179].

До сих пор в современной науке установить единые законы развития техники не получилось. Чаще всего технику понимают, как технические устройства, из анализа которых «законы» выделить невозможно. Законы техники не есть в чистом виде ни законы природы, ни законы собственно человеческой деятельности, так как сущность деятельности во многом подчиняется социокультурным факторам, поэтому законы развития техники проявляют себя там, где существуют некие артефакты. Благодаря этому взгляду предлагается выделять ряд общих «законов техники» [179]:

«подобия», при котором новые технические решения, как правило, модифицируют особенности традиционных решений, не изменяясь по сути. Техническая деятельность воспроизводится здесь по образцам, которые имеют характер прототипов;

«инженерной гомогенности» – сведение технических устройств к уже созданным, где воспроизводится сама методология создания, сам инженерный способ. В результате технические устройства гомогенизируются относительно инженерной деятельности;

«технологической гомогенности», при котором гомогенизация структуры технического устройства осуществляется как на основе инженерной деятельности, так и с учетом уже известной технологии;

«технического эффекта», когда открытие нового природного процесса, который эффективно перспективен, часто (но не всегда) приводит и к созданию новой техники;

«функциональности». В соответствии с этим законом одни технические устройства и решения влекут за собой другие в силу возникновения новых функций;

«биологического подобия» (закон Кудрина). При массовом проектировании и производстве технические изделия, обозначенные в документах, начинают вести себя подобно биологическим особям в популяциях, и к их состояниям в их взаимообусловленности могут быть приложимы некоторые биологические законы;

«концептуализации техники», то есть процесс, при котором на само развитие техники стали оказывать существенное влияние научные, социологические и философские концепции.

Представленные законы показывают, что используемые в системах технические средства являются не случайными и количественно, качественно определяются потребностями системы и человека.

В мире техники устойчивость можно рассматривать как область состояния системы за пределами, которой происходит нарушение или невозможность выполнения ею своего предназначения. Например, распространенные децентрализованные технические системы MAS- и HMS-типа демонстрируют устойчивость относительно отдельной подсистемы, но не отличаются оптимальностью [180].

Проектирование современных технических систем должно учитывать феномен социального понимания техники и сводится к минимизации фактров влияния отдельных личностей. Создание и существование технических систем требует ухода от человекоцентристской парадигмы современного управления к полицентристской [179].

Каждая цель системы определяется набором знаний о ней, характеризующих ее выполнение. Например, В. Г. Винсенти выделил шесть категорий таких инженерных знаний [179]:

1. «Основополагающие концепции технического дизайна – принципы работы устройства (технической системы) и номинальная конфигурация, которая обычно обеспечивает воплощение основных технических идей.

2. Критерии и спецификации – конкретные количественные цели для устройства, которые были получены из общих качественных целей.

3. Теоретические инструменты – математические формулы, расчетные схемы, основанные на природе объекта или на успешном прошлом опыте.

4. Количественные данные – универсальные константы, свойства веществ, физические процессы, условия эксплуатации, допуски, факторы безопасности и др.

5. Практические соображения – информация, полученная в основном из прошлого опыта и часто проявляющаяся бессознательно, не в кодифицированном виде.

6. Инструменты проектирования – процедуры, способы мышления и навыки суждения, с помощью которых осуществляется процесс» [181].

Данные знания представляют собой характеристики технических средств, самой технической системы и изменение их запускает процесс отбора для синтеза и обеспечения выполнения той цели к достижению которой стремится система. Происходит с одной стороны эволюция системы, требующая эволюции и совершенствования технических средств обеспечивающих выполнение целей системы. Все это требует формирования новых дополнительных целей проектирования систем, определения их приоритетов, которыми необходимо руководствоваться при принятии решений. Все это становится актуальным, особенно в современных реалиях, когда появляются новые требования к системам и техническим требованиям, новые угрозы их функционирования, наряду с ужесточением старых требований и изменяющейся обстановкой.

Возникает необходимость представления системы в качестве модели, представляющей описание процесса ее функционирования. Поскольку модели являются несовершенными и, как правило, показывают ограниченный функционал реальной системы, последующий процессы проектирование и синтез системы обладают неопределенностью, что на практике требует проведения экспериментов, опытов, подгонки и т.д. На практике такое построение системы и ее элементов будет иметь конечное число вариантов, при этом обусловленное заданием и потребностями системы в данный момент. Увеличение потребностей в количестве и качестве выполняемых задач и функций системы, совершенствование и увеличение количества технических средств формируют проблему сложности системы. В итоге оказывается невозможным избежать перехода от известного к неизвестному, что приводит к философской проблеме индукции: серии наблюдений не могут причинно доказать следствия, и тогда остается только некий «акт веры», лежащий в

основе любых выводов [179, 182].

Применяемые в системах технические средства, а также потребности и цели системы определяют степень автоматизации процессов, происходящих в них от полного исключения человека до выполнения всех задач только с участием человека. В этом случае возникает проблема возникновения ошибок в самой технике и их накопления с одной стороны и ошибок которые может допустить человек с другой. При этом предпосылками к автоматизации, уменьшению участия человека служит технический прогресс в мире и обществе в результате которого системы усложняются и человеческий мозг не в состоянии одновременно воспринимать большое количество взаимосвязей элементов, операций, процессов, событий, происходящих в системе. Также возникает сложности с восприятие функционирования отдельных технических средств, предназначенных для выполнения большого количества процессов. Основной функцией человека в таких системах должно быть принятие решения на то или иное событие в ней.

Информационные ресурсы систем представляют собой распределенные в пространстве и времени ресурсы различные информационные технологии, информационные процессы и решения по обработке, передаче и хранению информации, на основе централизованной иерархической информационной инфраструктуры, системы информационных структур, предназначенных для обеспечения функционирования системы, объектов и элементов, развития их информационного пространства и информационного взаимодействия [183].

Под информационным ресурсом традиционно понимается информационный актив системы, организации, который используется или потребляется в процессе выполнения некоторой деятельности, и используемая для его обработки информационной инсфраструктуры. Информационный актив (англ. information asset) – это информация с реквизитами, позволяющими ее идентифицировать, имеющая ценность для системы, организации, находящаяся в ее распоряжении и представленная на любом материальном носителе в пригодной для ее обработки, хранения или передачи форме [184]. В качестве информационных ресурсов могут использоваться циркулирующие по линиям связи данные, подключенные базы данных (БД) и базы знаний, справочники, архивы, резервные копии и т.п., содержащие управленческую, нормативную, справочную, платежную информацию, информацию бизнес-процессов, конфигурационные настройки сетевого оборудования и средств защиты информации (СЗИ) и т.п. Примерный перечень типов информационных ресурсов, который формируется каждой организацией самостоятельно на основе их классификации и который не должен противоречить нормам законодательства РФ, может содержать следующие два основных типа с подтипами [185]:

1) открытая (общедоступная) информация (например, опубликованная на веб-сайте организации в интернете, или представленная в ее рекламных роликах);

2) информация ограниченного доступа, включающая в себя:

управляющую информацию, используемую для настройки оборудования ИТКС, и информацию о процедурах его эксплуатации и поддержки;

технологическую информацию, включая системную документацию, руководства администраторов, разработчиков и пользователей и т.п.;

информацию по обеспечению ИБ и непрерывности функционирования элементов ИТКС;

информацию, содержащую сведения, составляющие различные виды тайн (коммерческую, банковскую, страховую, налоговую и т.п.);

персональные данные;

платежную информацию;

аналитическую информацию;

информацию о бизнес-контактах, деловой переписке, контрактах и пр.

ОКИИ, СТС представляют собой набор территориально распределенных элементов, связанных друг с другом. Рассматривая систему с точки зрения обеспечения их информационным ресурсом интерес представляют информационно-телекоммуникационные сети, системы связи выступающие в качестве среды обработки информационных ресурсов элементами системы. В такой среде осуществляется получение (поиск и сбор), обработка, хранение, распространение (передача и предоставление) и уничтожение информации [186].

В [185, 186] выделены семь уровней ИИ, которым соответствуют следующие типы объектов среды обработки информационных активов:

на физическом уровне – сети передачи данных, линии связи, оборудование (в том числе контроля доступа), аппаратура и СВТ (в том числе периферийные устройства, клиентские компьютеры), носители информации и прочее, а также помещения, здания, сооружения, где размещаются все элементы ИТКС организации;

на уровне сетевого оборудования – сетевые программные и аппаратные средства: маршрутизаторы, коммутаторы, концентраторы, сетевые серверы, сетевые принтеры и пр.;

на уровне сетевых приложений и сервисов – сервис поддержки точного времени, система доменных имен (англ. Domain Name System, DNS), почтовые клиенты, веб-браузеры, удаленные терминалы, вычислительные и коммуникационные сервисы, средства разработки и другие прикладные и общесистемные программные средства;

на уровне операционных систем (ОС) – процессы, порождаемые ОС, приложения ОС, прикладное ПО и пр.;

на уровне систем управления базами данных (СУБД) – файлы данных, БД, хранилища данных, архивированная информация, резервные копии и пр.;

на уровне технологических процессов и приложений – информационные и иные технологические процессы, служебно-информационные и тестовые сообщения, результаты работы приложений и пр.;

на уровне бизнес-процессов организаций – бизнес-планы, финансовые сметы, прогнозы, аналитическая информация, эксплуатационные или поддерживающие процедуры, планы по обеспечению непрерывности деятельности, меры по нейтрализации рисков, системная документация, руководства пользователей, бизнес-контакты, деловая переписка и пр.

Таким образом значение систем, их элементов, представляющих собой технические средства с каждым годом возрастает, что обусловлено теми наборами функций и задач которые они выполняют. Четкое формулирование предназначения, целей, функций, задач системы, которые она будет выполнять, независимо от ресурсного обеспечения, определяют потребность системы в ресурсах и создают предпосылки и условия осуществления проектирования, построения и синтеза системы, а также формирования резервов. Наличие ресурса в системе определяет весь перечень возможностей системы, помимо целевого предназначения, позволяющих выполнять дополнительные новые или другие задачи, функции, цели. Усложнение системы, возросшее количество элементов и процессов в ней, влияние их на систему и целевое предназначение, динамика изменения требований, количества и качества дестабилизирующих факторов определяют потребность рассмотрения системы и ее технических средств в режиме реального времени, режиме, приближенном к реальному времени. Процесс функционирования системы, ее технических средств должен быть четко формализован и описан, что позволило бы человеку, эксплуатирующему данную технику, определить характеристики системы и техники, которые позволили бы описать состояние техники, ее возможности, возможности ее использования в различных ситуациях и т.д., что позволит выполнить требования, предъявляемые к ним, и обеспечить их использование в интересах всей системы. Все это требует контроля процесса функционирования системы.

## 2.4 Контроль, как инструмент реализации обратной связи в процессе управления

Одним из элементов процессного подхода, позволяющего реализовать основной процесс управления – обратную связь объекта и субъекта управления является контроль процессов, происходящих в системе.

Эффективность функционирования любой системы определяется исходя из заданных критериев, например, количества, качества товаров, изделий, услуг, стоимости, затрат на производство и т.д. В таких условиях единственным средством, позволяющим проверить выполнение данных критериев является их контроль. Многообразие систем, сложность, количество элементов и особенности выпуска конечного продукта их деятельности определяют и подходы к контролю.

Множество требований, предъявляемых к системам, в том числе, критичность объектов, и обязательное их выполнение способствовали рассмотрению ИУС в рамках стандартов серии ИСО 9000 и процессного подхода. Это определяет особые требования к процессу контроля таких объектов, систем. Контроль систем осуществляется путем отслеживания значений параметров системы и ее элементов. Используя контроль в системе необходимо уделять внимание характеристикам контроля полноте, своевременности, качеству и т.д., с одной стороны, а также возможности его интеграции в уже существующие системы управления, комплексному взаимодействию с различными элементами системы, использующих различные протоколы, стандарты, с другой.

Рассматривая контроль функционирования ИУС, ее элементов, пользователи системы контроля, основных его инструментариев зачастую сталкиваются с проблемой методологического характера контроля на таких объектах. Для чего предназначен контроль, как он участвует в системе обеспечения функционирования объекта, управления им, какие средства, в какой последовательности и как взаимодействуют друг с другом?

Фундаментальными понятиями контроля можно считать физическую величину и информацию [187]. Первая характеристика качественно и количественно описывает состояние системы, объекта, их элементов, состояния процессов, происходящих в системе, способность и степень выполнения того или иного процесса. Информация выступает в качестве физической характеристики физической величины, которая преобразуется в сигнал и поступает и может восприниматься системой контроля, средствами обработки, а также лицами, принимающими решение, для отображения и визуализации состояния системы и результатов контроля. Формируемый сигнал, отражает содержание информации, которая характеризует состояние системы, выполнение того или иного требования. Для количественного определения степени выполнения физической величины используются

параметры.

Учитывая, что процессы, происходящие в системе, являются материальными и характеризуются пространственно-временными состоянием элементов системы, участвующих в их выполнении, то сигнал системы контроля, характеризующий информацию контроля процессов и их элементов служат материальным воплощением информации в виде физического процесса [187]. Рассмотрение информации контроля о системе и ее элементах, представленных в виде сигнала, показывает, что сигнал также является физической величиной с определенными характеристиками, которые также могут быть подвержены контролю. При этом существенным остается вопрос параметров и характеристик среды и условий их распространения таких сигналов, которые имеют свои особенности.

Наряду с диагностикой, контролем и мониторингом систем, объектов для понимания физических процессов, происходящих в системах немаловажное значение имеет процедуры измерения, тестирования, анализа процессов, способности выполнить свое предназначение и влияния на него. Рассмотрим более подробно каждый из них.

Под измерением следуем понимать процедуру получения в явном или неявном виде значения физической величины, характеризующей выполнение того или иного процесса системы, функционирование элемента или объекта системы. Средство измерения, предназначенное для воспроизведения или хранения физической величины одного или нескольких заданных размеров, значения которых выражены в установленных единицах, носит название меры [187]. При проведении измерений, из-за особенностей приборов, аппаратуры измерений, условий их использования реальное значение величины может отличаться от полученной с помощью приборов, что обусловлено погрешностью измерения. Погрешность определяется возможным отклонением результата измерения от реального значения измеряемого параметра, случайной величины.

В соответствии с [187, 188], все методы измерений можно разделить на три больших группы:

методы сопоставления. Основой данного метода является сравнение измеренных величин с заданной нормой, при этом измерение осуществляется одновременно всеми средствами;

методы уравновешивания. Процесс измерения включает последовательно совершаемые процедуры;

дифференциальные методы. Процесс измерения включает параллельно производимые процедуры, сравнение двух мер и последующий анализ полученных результатов.

Использование того или иного метода определяется наличием измерительных средств и их комбинациями, основными из которых могут быть: измерительные и пространственные преобразователи, средства сравнения,

Одним из проявлений измерения является счет, позволяющий определить значение дискретного параметра процесса, количества элементов, объектов, параметров.

Тестирование может представлять собой установление опытным путем соответствия между состоянием и свойствами объекта или процесса, находящегося под воздействием строго определенной величины, которое производится с использованием специальных средств, хранящих в явном или неявном виде единицы этой величины, определяющие область значений нормы [187]. Результаты тестирования могут соответствовать требованиям нормы или нет, при этом область значений, в которых может находится значения величин, полученных тестированием будет определять область нормы. Определение нахождения полученной при тестировании величины в области нормы будет являться результатом тестирования и определять уровень, степень соответствия норме. При этом в процессе тестирования могут использоваться процедуры измерения и анализа.

Для метода тестирования, когда в качестве нормы выступает не область значений, а конкретное значение измеряемой величины осуществляется проверка выполнения соответствия измеренной величины норме, в результате формируется значение 1 или 0.

Под анализом понимается метод исследования направленный на рассмотрение отдельных стадий, свойств и составных частей системы, объекта, элемента, процесса. В процессе анализа может использоваться процедура измерения с использованием специальных приборов с последующей обработкой результатов. Результатом анализа могут быть суждения соответствия выполнения процесса или значения параметров, характеризующих функционирование системы, ее элементов, выполнения процесса. Разница, отношение между одинаковыми величинами, полученными в различные интервалы времени, при одинаковых условиях могут определять погрешность результата анализа. Значительное отклонение измеряемой величины от реального и выход его за пределы погрешности будет определять несоответствие достоверности и адекватности использования метода анализа в данных условиях. В свою очередь отклонение от нормы измерения будет определять несоответствие значения данной величины требованиям и невыполнение анализируемого процесса, объекта, элемента, всей системы.

Метод анализа представляет собой определение зависимости измеряемой физической величины от различных условий, параметров, характеристик, эффекта, положенных в основу анализа. В зависимости от задачи и используемого принципа анализа, различаются и реализации этих принципов. Так, например, при спектральном анализе

переход от временного представления сигнала к частотному представлению осуществляется с помощью прямого преобразования Фурье, а при восстановлении исходного представления сигна.ла посредством обратного преобразования Фурье [187]. При анализе логической структуры сигналов используются логические операции, поэтому используются методы, направленные на сравнение кодов, выделению их из битовых потоков и т.д. Процедура анализа кода может быть отражена в виде матриц кода и меры. При равенстве соответствующих элементов матриц формируется сигнал 1 иначе 0.

Анализ, как и тестирование можно рассматривать, как частный случай измерения физических величин, описывающих процессы, функционирование системы, ее элементов. Отличительной особенностью анализа, по сравнению с измерением может быть необходимость обработки результатов в средствах измерения. Примерами средств измерения могут быть средства измерений АЧХ и ФЧХ, селективные измерители, измерители тех или иных характеристических параметров и т. д., к средствам анализа – анализаторы спектра, анализаторы статистических данных, анализаторы протоколов и др.

Часто в системах используются методы мониторинга, под которым можно понимать постоянное наблюдение за системой и ее элементами, нахождением параметров объектов и процессов в заданных пределах. В [187] мониторинг рассматривается как вид тестирования, распределённого в пространстве и времени, измерение величин и анализ данных осуществляется для различных объектов системы, находящихся под воздействием (влияющие на функционирование) физической величины, процесса.

Процессы диагностики и контроля представляют собой установление соответствия состояний и свойств объекта или процесса заданной норме путем восприятия физических величин, сопоставления их с предварительно установленными значениями или совокупностями значений (масками) и последующим: формированием суждения – вывода [187, 189]. Результатом диагносте и контроля является качественная характеристика соответствия процесса, объекта установленным нормам, требованиям к ним, определения возможности нахождения выполнения процесса в области допустимых значений физической величины его характеризующей.

В качестве основного отличия диагносте от контроля можно выделить необходимость определения места, объекта, элемента системы нарушение функционирования, которого приводит отклонению физической величины, характеризующей процесс в системе, от области допустимых значений. В свою очередь, при контроле система и оператор получает ответ в норме выполнение процесса или нет. При этом рассматривая реальные системы диагностика и контроль должны находиться в постоянном взаимодействии друг с другом, что обусловлено потребностями рассмотрения

сложных технических систем в реальном масштабе времени. Для получения объективных данных о состоянии процесса производится измерение величины, характеризующей процесс, последующее сравнение ее с мерой, нормой для данной величины и определения соответствия измеренного значения требуемому. При отклонении от нормы и нарушении процесса производится диагностика объектов и элементов системы, которые участвуют в выполнении процесса и могли повлиять на значение измеренной величины, для локализации причины нарушения выполнения процесса.

Имея определенную статистику в наработке, контроле и диагностике объектов системы и нарушений ее функционирования, а также условий и воздействий ДФ возможно прогнозировать состояние элементов, а также влияние изменения состояния элементов на процессы протекающие в системе. Такие данные могут способствовать принятию своевременных мер для обеспечения устойчивого функционирования системы и ее элементов.

Контроль и диагностика системы и ее элементов возможно только при наличии соответствующих средств контроля. Они показывают для человека отношение реальной картины мира, физического объекта к абстрактному понятию меры. Степень соотношения меры и физической величины представляет собой информацию о состоянии системы, ее элементах, процессах, происходящих в ней. Получение такой информации человеком происходит с использованием физических объектов- инструментов контроля, являющихся устройствами, используемыми для нахождения значения требуемой физической величины. Рассматривая средства контроля для различных систем, объектов, которых множество, можно выделить общие их особенности.

Основным назначением инструментов, использующихся для контроля систем, объектов является применение их в качестве средства преобразования характеристик физического мира в информацию, необходимую для системы контроля или человека. Очевидно, что для получателя информации контроля с таких средств в качестве входа рассматривается информация, а в качестве выхода – управляющее воздействие на получение данной информации. Вид отображения информации в виде показаний стрелки прибора, отображения значений на табло прибора определяются функциями прибора и представляют собой отношение между входом и выходом.

Часто оценку соответствия измеренной величины соответствующей норме производит человек, путем сравнения показаний средств контроля, измерительных приборов с такой мерой. Для упрощения на некоторых приборах, предназначенных для контроля определенных процессов, элементов на шкале отображается норма, а при

измерении стрелка индикатора находятся в зоне нормы или вне ее. В данном случае оператор фиксирует факт соответствия измеренной величины норме.

Процедура контроля с использованием измерителя в общем случае может включать следующие события: получение команды на произведение измерения, получение информации с измеряемого объекта, процесса с использование измерительного преобразователя, датчика, обработка полученной информации и отображение ее на интерфейсе средства контроля, системы контроля для восприятия оператором, кроме этого, в процессе обработки может производится процедура сравнения величины с заданной мерой. В современных системах информация в процессе контроля преобразуется и перемещается, как правило, в виде электрического сигнала. Датчик или измерительный преобразователь может иметь физическое соединение с контролируемым объектом или процессом, независимо от этого он должен выполнять свою функцию и реагировать на изменение состояния объекта или процесса. Часто физическая величина является электрическим сигналом, что не требует преобразования информации в такой сигнал, если же она не является таким сигналом, то происходит преобразование неэлектрической величины в электрическую.

Использование ЭВМ значительно автоматизируют процесс контроля, в первую очередь, возможностью обработки больших объемов информации, отображении ее на дисплее, при этом, часто, за все элементы, процессы, объекты системы. Еще одно особенностью использования ЭВМ является возможность моделирования отсутствующей части объекта, системы, процесса для рассмотрения целостной картины и получения адекватных и достоверных данных контроля.

Немаловажное значение имеет потребность ЛПР и системы получать информацию контроля в режиме реального времени, что наиболее актуально для ОКИИ и других технических систем, в которых нарушение выполнения одного процесса может повлиять на точность, качество и эффективность функционирования всей системы, а реакция на такое нарушение должна быть мгновенной. Процессы в системах, изменение окружающего мира и физических объектов происходит в режиме реального времени, что определяет необходимость использования инструментов, выполняющих свои функции так же в режиме реального времени. Это важно и потому, что в некоторых системах требуется координация выполнения процессов, синхронизация элементов и процессов системы, обработки информации, формирования и передачи сигналов с привязкой ко времени.

Использование большого количества мощных ЭВМ, которые позволяют одновременно получать и обрабатывать информацию с большого количества датчиков, измерительных средств, параллельно, позволяют значительно увеличить эффективность

контроля. Использование данных контроля позволит системам принятия решения своевременно реагировать на возникающие нарушения и формировать варианты действий по их устранению, что позволит если не повысить, то обеспечить способность контролируемых элементов выполнить свои функции.

Таким образом средства контроля являются элементами, обеспечивающими взаимодействие оператора с объектами физической природы системы, и позволяющим отображать информацию о состоянии объектов контроля, необходимую человеку, системе для определения степени соответствия требуемой мере.

Процесс контроля может осуществляться методом прямого контроля, когда производится измерение величин в единицах контролируемой величины, и косвенного контроля, осуществляемого исходя из результатов прямого контроля величин. В этом случае значение контролируемого параметра определяют по значениям, связанных с ней и уже измеренных величин.

Также в зависимости от типа контроля могут различать [187]:

настроечный контроль, который проводится при первоначальной настройке каналов и трактов с целью выявления соответствия настроечным: нормам и характеризуется строгой последовательностью, определяемой взаимозависимостью работы устанавливаемого оборудования;

приемо-сдаточный контроль, назначение которого заключается в проведении полного объема процедур измерений, анализа и тестирования на соответствие установочным нормам с отражением результатов в техническом паспорте;

профилактический контроль, выполняемый в процессе эксплуатации системы передачи на соответствие эксплуатационным нормам;

внеплановый контроль, являющийся составной частью ремонтно-восстановительных работ, в которые на заключительном этапе могут входить как настроечные, так и приемо-сдаточные измерения, и тестирование.

Под настроечными и эксплуатационными нормами понимаются значения параметров, при которых система, объект способно выполнить функции с требуемой эффективностью.

Кроме этого различают ручной, автоматический и автоматизированный контроль. В зависимости от условий функционирования системы контроль может производиться на оборудовании работа которого прекращена, работающего, выведенного из цепочек и процессов системы, с прерыванием отдельных функций и непосредственно на оборудовании, полностью участвующем в процессах системы.

По отношению объекта и субъекта контроля могут различать локальны, когда средства контроля расположены вблизи контролируемого объекта, дистанционный, когда они находятся на удалении от объекта контроля, и распределенный контроль, когда часть средств контроля располагаются вблизи объекта, а часть на удалении от него.

Контроль использующий дополнительные средства, помимо средств измерения, такие как, например, генераторы шума, импульсов и т.д. называется активным. Пассивный контроль характеризуется отсутствием внешних воздействий.

Комплексный контроль осуществляется одновременно по множеству величин, элементарный – по одной величине. При этом, при комплексном контроле используется много средств измерения.

Контроль функционирования системы может включать контроль внешней среды и контроль внутренней среды, процессов в системе. Внешний контроль определяет условия функционирования объектов, системы, влияющие на внутренние процессы системы.

Различают контроль физических объектов и элементов системы, а также программных и программно-аппаратных ее составляющих. Контроль процесса доставки информации до оператора, абонента включает контроль участков сети, контроль всей сети, использующейся для обмена информации.

К контролю предъявляются определенные требования по достоверности, полноте, своевременности и точности

Рассмотренные выше типы контроля и их особенности не позволяют получить достоверной информации о самом контроле, способности им выполнить цели контроля. Для этой цели необходимо рассмотреть требования, предъявляемые к контролю. Точность контроля определяется используемыми средствами и погрешностями измерения физических величин, удовлетворяют ли параметры контроля и результаты, полученные в ходе него систему и оператора, способствуют ли они обеспечению выполнения всех функций системы и своевременности устранения возникающих нарушений функционирования.

Достоверность контроля отражает свойство системы контроля обеспечивать соответствие результатов контроля истинным состояниям объекта или ФВ и определяет тем самым степень доверия к результатам контроля [187, 190]. Результатом контроля может быть вывод, что реальное и истинное значения контролируемой величины с определенной долей вероятности соответствуют или не соответствуют норме.

Полнота контроля характеризует минимальный охват процессов, объектов системы и контроля, измерение которых достаточно для получения полной картины о состоянии системы.

Своевременность контроля определяется максимальным временем необходимым для выявления нарушения, обработки и реакции на него системы, которое не будет влиять на процесс функционирования системы, объекта, элемента.

## 2.5. Дестабилизирующие факторы, влияющие на процесс функционирования ОКИИ

Рассматривая ИУС АН необходимо уделять внимание влиянию на нее различных факторов, нарушающих ее функционирование. Для таких систем дестабилизирующими факторами (ДФ), влияющими на нарушение работоспособности элементов системы являются внутренние, обусловленные надежностью, и внешние, обусловленные живучестью, воздействия. Воздействие на отдельные элементы системы, которые имеют важное (критическое) значения для нее, может привести к невыполнению системой своих функций [191-194]. Такие воздействия, так же бывают естественными и искусственными (рис. 2.2), к ним относятся различные виды оружия, террористические акты и преднамеренные электромагнитные воздействия [195].

В доктрине информационной безопасности РФ вводится понятие информационно-технические воздействия (ИТВ), направленные на информационную инфраструктуру, к которой относятся и элементы ИУС. Рассмотрим некоторые виды искусственных ДФ и ИТВ влияющих на функционирование таких систем.

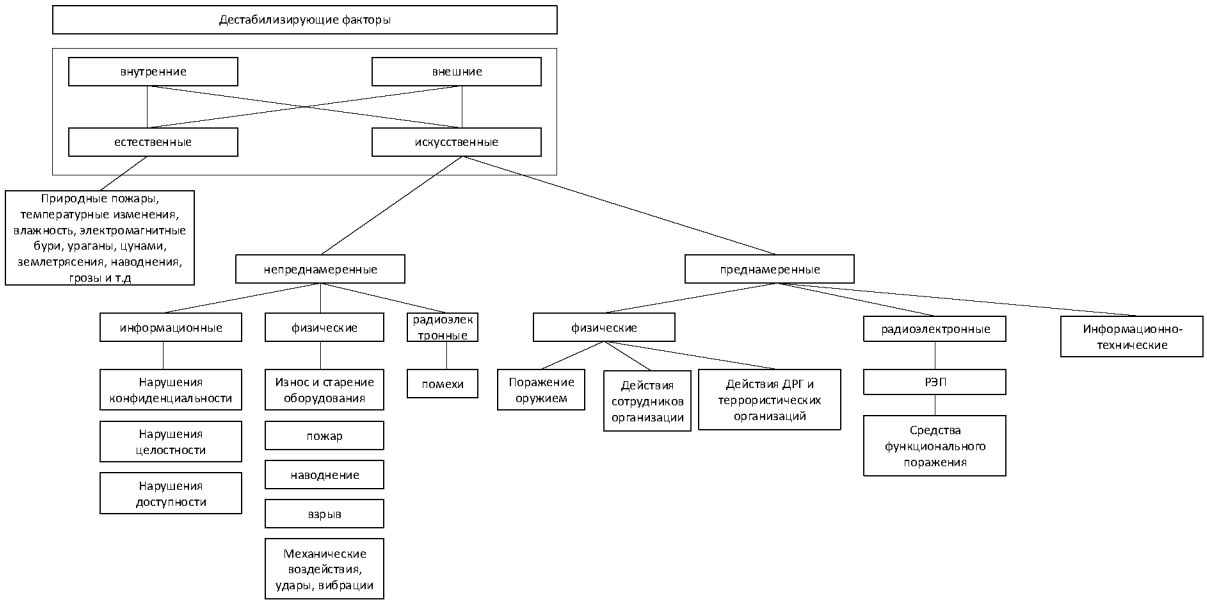



Рисунок 2.2 - Дестабилизирующие факторы влияющие на функционирование ИУС АН

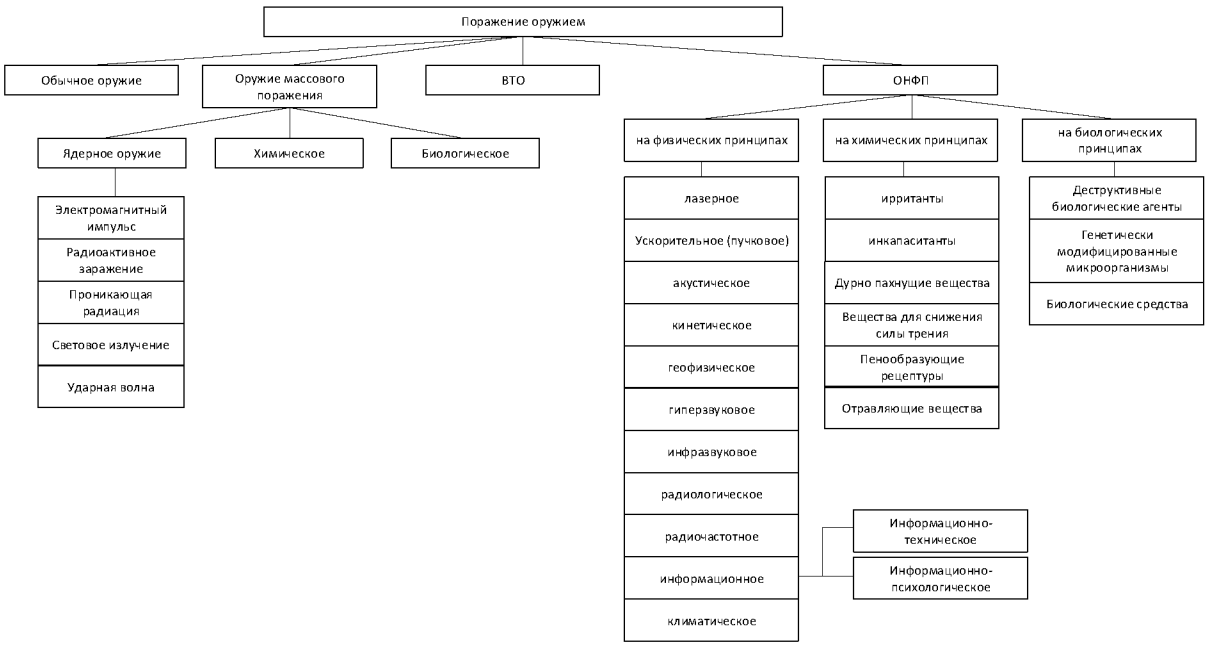



Рисунок 2.3 - Классификация оружия, влияющего на функционирование ИУС

Оружие можно разделит (рис. 2) на обычное, оружие на новых физических принципах (ОНФП) и оружие массового поражения (ОМП) (ядерное, химическое и биологическое (ЯО, ХО, БО)). Наиболее опасными являются ОМП и ОНФП, кроме этого высокоточное оружие (ВТО).

Обычное оружие (обычные средства поражения) представляет собой оружие применение, которого не приводит к большим разрушениям, массовым потерям людей. Это материальное холодное, стрелковое, реактивное и т. д.

Оружие массового поражения включает химическое, биологическое и ядерное оружие. Основные поражающие факторы ЯО представлены на рисунке 2.3. Наибольшее влияние на технические средства оказывают электромагнитный импульс и ударная волна.

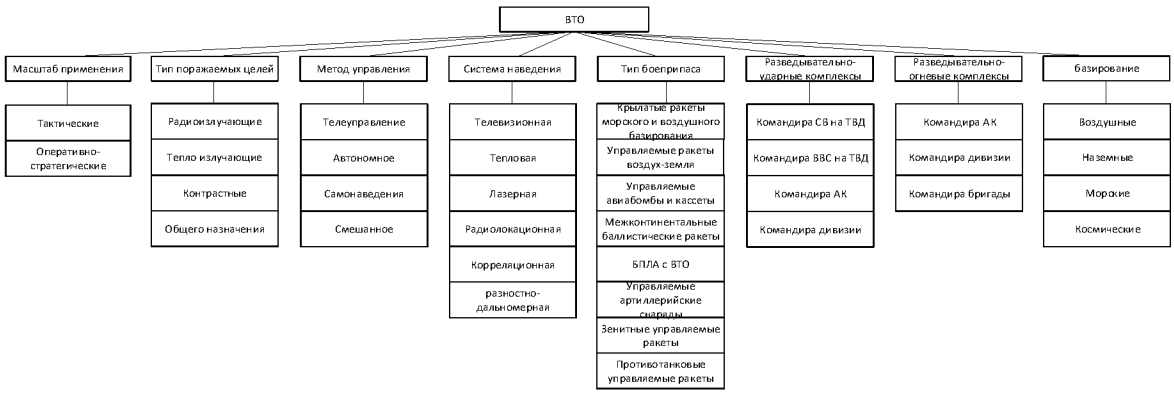



Рисунок 2.4 - Классификация ВТО, влияющего на функционирование ИУС

Высокоточное оружие (ВТО) предназначено для поражения целей с высокой вероятностью. Как правило такое оружие в своем составе имеет систему управления и наведения, при этом в процессе доставки снаряда к цели траектория его движения может корректироваться. ВТО (рис. 2.4) делятся по масштабу применения (тактические, оперативно-стратегические), по типу поражаемых целей (радиоизлучающие, теплоизлучающие, контрастные, общего назначения), по базированию (наземные, воздушные, космические, морские), по методу управления (телеуправление, автономное,самонаведения, смешанное), по системе наведения (телевизионная, тепловизионная, лазерная, радиолокационная, корреляционная, разностнодальномерная), по типу боеприпаса (БР, КР, УР, УАБ, УАК, ПТУР, ЗУР), РУК (командира СВ на ТВД, командира ВВС на ТВД, командира армейского корпуса (АК), командира дивизии), РОК (командиров АК, КД, Кбр).

ОНФП называется оружие, поражающее действие которых основывается на ранее не использовавшихся в военных целях процессах или явлениях. Массового применения данное оружие не получило, но разработки в этом направлении продолжаются уже давно. ОНФП делится на оружие летального и не летального действия и его можно разделить [199] на оружие основанное на физических, химических и биологических принципах: механическое оружие (механические блокирующие системы и блокирующие по средствам химических составов), электрическое оружие (электронные импульсы), электромагнитное (когерентное (лазерное) излучение, радиочастотное, средства РЭБ), химическое (воздействие на вещества и материалы), биологическое/биотехнологическое (воздействие на технику и оборудование), информационное (компьютерные вирусы, заранее внедренные блоки программного обеспечения, ВВТ с дистанционным санкционированием применения) и т.д.

Информационно-технические воздействия (ИТВ) – воздействия на информационный ресурс, информационную систему, информационную инфраструктуру, технические средства или программы, предназначенные для получения и передачи, обработки и хранения, а также воспроизведения информации с целью вызвать структурные или функциональные изменения в системе. ИТВ (рис. 2.5) делится [200] по виду (одиночные и групповые), по характеру поражающих свойств (обычные, высокоточные, комплексные), по типу (пассивные (перехват и НСД) и активные (разрушающие, манипулирующие, блокирующие, отвлекающие)), по цели использования (атакующие (по ориентированности на свойства информационной безопасности (нарушающие конфиденциальность, целостность, доступность), психологические воздействия на пользователей), обеспечивающие (разведка (традиционная техническая, компьютерная, из

открытых источников), преодоление системы защиты), оборонительные (выявляющие, блокирующие, контр-атакующие, отвлекающие, противодействие обеспечивающим воздействиям), комбинированные), по способу реализации (алгоритмические (программные и аппаратные), физические (электромагнитные, акустические, гидроакустические и др)

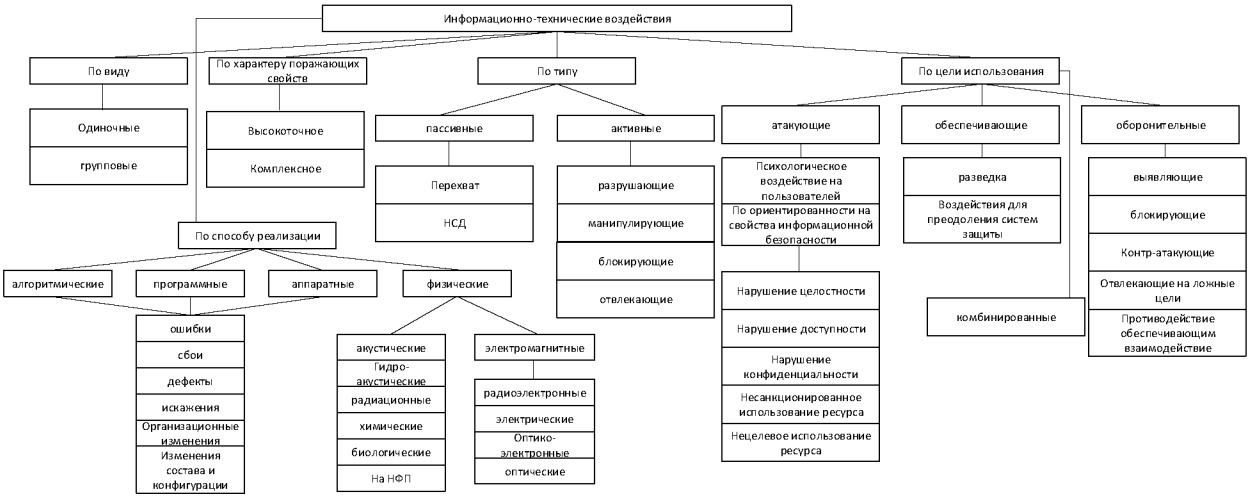



Рисунок 2.5. - Классификация ИТВ, влияющих на функционирование ИУС

Активные, в отличие, от пассивных оказывают воздействие на систему с целью нарушения ее функционирования, поэтому обнаружение пассивных ИТВ затруднительно. При воздействии активных ИТВ возникают (может возникнуть) ошибки в оборудовании, сбои и другие отклонения, приводящие (могущие привести) к нарушению функционирования отдельных элементов и системы в целом.

Оборонительные предназначены для противодействия атакующим воздействиям и, как правило, являются основными элементами системы обеспечения информационной безопасности. К ним относятся средства антивирусной защиты, системы обнаружения, предупреждения и ликвидации последствий компьютерных атак (КА), средства криптографической защиты информации, средства противодействия техническим разведкам, предназначенные для выявления закладок, скрытых возможностей, стенографические средства обеспечения конфиденциальности, целостности и скрытности информации, средства тестирования оборудования и программного обеспечения и др.

Обеспечивающие воздействия применяются для более эффективного использования атакующих и оборонительных ИТВ, их основной целью является сбор и обработка данных, в первую очередь, о возможностях противника по воздействию на собственные (наши) объекты, сети и системы. Основным средством, обеспечивающим получение таких

сведений, является разведка. Разведка бывает технической, использующей для добывания сведений технические средства, агентурной, добывание информации осуществляется с помощью агентов разведки, разведка на основе открытых источников и др. [200]. В зависимости от вида разведки осуществляется получение различной информации [201]. Наиболее опасной для современных ИУС и их элементов, использующих цифровые технологии, является компьютерная разведка. Основным способом ведения компьютерной разведки является реализация компьютерных атак (КА). Классификация КА представлена в [200, 202].

Для сбора разведданных и информации используются открытые источники: телевидение, радио, интернет, газеты и т. д. Синтез отдельных, казалось бы, не взаимосвязанных сообщений позволяет получать нужную информацию об объектах, процессах, системах, людях и т. д. Полученная таким образом информация тщательно обрабатывается. Для ведения такой разведки используются специальные подразделения аналитиков, различные программные средства анализа данных на основе семантических поисковых алгоритмов.

Атакующие ИТВ направлены на информацию, различные системы сбора, обработки, хранения, передачи, представления информации с целью нарушения функционирования системы или снижения уровня информационной безопасности объекта.

Информационно-психологические воздействия оказываются на отдельных лиц или группы лиц, в основном, выполняющих функции управления. В результате воздействия могут меняться поведение, восприятие реальности, отклонения поведенческих функций, нарушения функционирования органов, организма. Более подробно данный вопрос проработан в литературе [203].

Комбинированные ИТВ выполняют полностью или частично функции атакующих, обеспечивающих и оборонительных ИТВ.

По способу реализации ИТВ делятся на алгоритмические, программные, аппаратные и физические воздействия.

Алгоритмические представляют собой алгоритмы использующие возможности санкционированные и несанкционированные ПО, оборудование и возможности для воздействия и специальные программы, направленные на управляющие, прикладные программы системы, сетевые протоколы, и системы элементы системы защиты. Программные — различные вирусы, закладки, нейтрализаторы программ, программные средства ведения разведки, САВЗ, средства обнаружения, предупреждения и ликвидации последствий вторжений и КА, средства криптографической ЗИ, программы создания ложных объектов и тестирования ПО, стенографические средства. К аппаратным относятся

аппаратные закладки и средства технического анализа для обнаружения закладок и странного поведения объектов. Физические основаны на использовании ОНФП и возможностей разведки.

Искусственные дестабилизирующее воздействие на любую техническую систему, часто, в той или степени связано с человеком или его потребностями. Одни воздействия нарушают процесс функционирования системы или ее элементов, другие позволяют получать информацию о системе, процессах, происходящих в ней и содержании информации, циркулирующей в ней. Все такие угрозы делятся на внутренние и внешние, как показано на рис. 1.1 Внешние угрозы определяются воздействием человека и технических средств, используемых им, который не принадлежит системе, т.е. не участвует в процессах функционирования системы, ОКИИ. В качестве внешних угроз могут рассматриваться террористические, криминальные группировки, организации конкуренты, группы людей и отдельные группы. Источником внутренних угроз является персонал системы, ОКИИ, его действия.

Современные подходы к учету воздействия дестабилизирующих факторов на системы в России и за рубежом строятся на основе управления рисками, при этом оценка влияния человеческого фактора, особенно внутреннего, и прогнозирование его представляют большую сложность. Это обусловлено трудностью, а часто, невозможностью получения достоверной и объективной информации, необходимой для анализа причин и прогнозирования действий персонала, которые могут стать причиной нарушения функционирования системы, ОКИИ. Причиной этого может быть ограниченность возможности установления в действиях персонала определенных устойчивых типовых зависимостей и закономерностей [204]. Объяснить это можно большим разнообразием факторов, влияющих на поведения человека и его действия, а также не однозначностью причинно-следственных связей между ними. Как нет в мире двух одинаковых людей, так и поведение разных людей зависит от многих условий, учесть которые практически невозможно. Необходимо учитывать пол, место события, время, погодные условия, характер, семейное положение и т.д. что также не даст стопроцентной гарантии, что другой человек поведет себя также. Однако проблема влияния человеческого фактора на функционирования системы, ОКИИ имеет место быть и должна рассматриваться, хотя бы для того, чтобы минимизировать последствия таких действий.

Термин «человеческий фактор» (ЧФ) появился и получил широкое распространение сначала в американской атомной энергетике после аварии во втором блоке «Тримайл-Айлендской» АЭС, а после Чернобыля и во всем мире, для обозначения деятельности по выявлению и устранению проблем взаимодействия человека с техническими средствами,

которые могут стать причиной нарушения функционирования систем и ОКИИ [205].

С начала 1960-х годов проблема влияния ЧФ на технические системы стала рассматриваться как многоотраслевая прикладная наука и область практики, нацеленная на анализ психологических, физиологических, антропометрических и др. характеристик человека, его возможностей и ограничений в конкретных условиях деятельности [207].

Классическим научным трудом в области исследования влияния ЧФ является руководство «Человеческий фактор», написанное американскими специалистами, объединенными в профессиональное сообщество — Human Factors Soc. Наивысшее качество систем, подчеркивается в нем, не может быть достигнуто без отличного качества человеческих компонентов, компонентов конструкции и оптимизации взаимодействия между ними [206, 208].

На практике в организациях для минимизации влияния ЧФ на функционирование системы, ОКИ и их элементов используют различные рекомендации, методики, принципы, в основе которых лежат анализ и статистика событий, причиной которых стал ЧФ, научные исследования в различных областях, в первую очередь психологии, педагогике и других смежных наук. Все они аккумулируются в виде инструкций и рекомендаций. При этом они имеют общий подход и часто не учитывают особенности функционирования системы, условия внешней среды, внутренний климат отдельного коллектива и множества других специфических факторов, влияющих на человека и его работоспособность.

Выполнение обязанностей персоналом является нормой, прописанной в инструкциях и обязанностях, при это отклонение от нормы, как правило, трактуется как ошибка или нарушение. При этом, в мировой и отечественной литературе обычно разделяют два класса причин отказов человека как компонента человеко-машинной системы: организационные и индивидуально-личностные [206].

Проявляется такой фактор действиями персонала, которые могут привести к нарушению функционирования ОКИИ, технической системы. Наиболее часто встречающиеся действия представляют собой ошибки человека. В общем случае к ошибкам можно отнести следующие виды действий [206, 209]:

1. При приеме и обработке информации: ошибки обнаружения, различения, дентификации и опознания признаков опасной ситуации;

2. При анализе и оценке ситуации: ошибочная оценка ситуации, состояния объекта; неверная интерпретация информации; неправильная формулировка проблемы, ошибочный прогноз развития ситуации.

3. При выработке и принятии решения (плана мероприятий, графика работ, порядка действий, регламента и др.): неправильное или несвоевременное решение, вследствие

ограниченного числа рассматриваемых альтернатив, неверной оценки вероятности или значимости исхода; отказ от принятия решения.

4. При реализации решений: отсутствие или несвоевременная выдача соответствующих команд и распоряжений; неправильные, ошибочные команды или распоряжения; неисполнение, некачественное или несвоевременное исполнение команд или распоряжений.

5. При контроле за выполнением решения: некачественный или несвоевременный контроль; несвоевременная, неточная или ложная информация о результатах контроля; отсутствие или несвоевременная реакция по результатам контроля.

Причиной ошибок может быть множество факторов, влияющих на человека, внешних и внутренних, приводящих к тому, что человек не соответствует требованиям в выполнении профессиональных функций.

К основным причинам ошибочных действий персонала можно отнести [206, 210]:

долговременные медицинские и психофизиологические характеристики человека: общее состояние здоровья, темперамент, скорость реакции и устойчивость внимания, эмоциональная нестабильность;

функциональное состояние здоровья на текущий момент (болезнь, состояние алкогольного или наркотического опьянения, последствия травм, депрессия, настроение и т.п.);

низкая или недостаточная квалификация специалиста в области выполняемых им работ, непрофессионализм, некомпетентность;

негативная психологическая установка, недостаточная мотивация, недобросовестность, безответственность, недисциплинированность, пассивность;

некомфортные условия работы;

низкая степень удовлетворенности работой, неэффективная система стимулирования;

низкое или недостаточное качество нормативно-технических и организационно-распорядительных документов (нечеткость изложения требований, определения обязанностей, прав и ответственности). Есть немало субъективных переменных, сказывающихся на оценке риска и принятии решений.

Учет таких факторов предполагает периодическую проверку морально-психологического состояния работников, проведение тренировок действий в различных нештатных ситуациях, проведения подготовки к выполнению обязанностей, а также обучения и переподготовки. Наряду с этим обязательно нужно учитывать опыт работника, уровень интеллекта, логику мышления, склонность к риску и т.д., что является

индивидуальными особенностями каждого работника и вызывает определенные трудности при статистическом учете. Конечно все ситуации и случаи учесть не прилучится, однако учет типовых, наиболее распространенных, уже произошедших в прошлом случаем позволит значительно снизить вероятность неправильных действий персонала, которые могут привести к нарушению функционирования системы и ОКИИ.

Наряду с ошибками, не менее опасными являются преднамеренные действия человека. Более опасными являются злонамеренные действия работников организации – внутренние факторы. Обусловлено это в первую очередь знаниями работника и вовлеченностью его в технологические процессы на ОКИИ, технической системе. Причинами противоправных преднамеренных действий могут быть:

психологические заболевания, отклонения, эмоциональные потрясения;

плохая социальная, экономическая, политическая обстановка в стране;

материальная заинтересованность;

недовольство своим положением в обществе, проблемы в семье, коллективе;

шантаж со стороны третьих лиц;

политические, религиозные, социальные взгляды работника и т.д.

Еще одной потенциально опасной для организации проблемой могут стать сотрудники, уволенные из организации, при этом отдельную группу представляют сотрудники, уволенные по «плохому» за нарушения регламентов, дисциплины, пьянство и т. д. Такие лица являются потенциальными претендентами на вербовку различными организациями, террористическими и бандитскими группировками и т .д. Потенциальная опасность таких бывших работников обусловлена их знаниями о предприятии, происходящих в них процессах, а также уязвимых местах в организации обеспечения безопасности на объекте.

В настоящее время в науке и на практике сложилась определенная система обеспечения безопасности и устойчивого функционирования технических систем, объектов КИИ, которая позволяет в той или иной степени уменьшить влияние человеческого фактора на процессы в организации.

Целью профессионального отбора является научно-обоснованное обоснование возможности допуска работника к выполнению обязанностей. Здесь производится выявление задатков к той или иной деятельности. В организации могут проводится следующие виды профотбора: медицинский, социально-психологический, психофизиологический, психологический, физический и другие.

Набор организационных, технических и программных средств и способов контроля деятельности и нейтрализации ошибок персонала в литературе в России и в мире

проработан очень хорошо [206, 211]. Организационные средства направлены на повышение уровня лояльности и удовлетворения потребностей персонала в профессиональном совершенствовании, ответственности за обеспечения устойчивого функционирования системы, объекта КИИ и их элементов.

Основой автоматизации процессов функционирования систем является внедрение программно-технических средства контроля самой системы и персонала. Их можно разделить на два класса:

средства контроля и мониторинга технической части системы, предназначенные для выявления фактов нарушения их функционирования, а также прогнозирования наступления таких событий, анализа их и определения причин их наступления;

средства контроля и мониторинга персонала, использующиеся для определения порядка выполнения операций на рабочем месте, контроля прибытия убытия персонала, кроме этого, могут использоваться различные системы и средства определения состояния персонала, температура, психологическое состояние и т.д. К таким средствам можно отнести камеры, считыватели, контроллеры, магнитные, электрические замки, системы контроля управления доступом и т.д., которые имеют в своем составе специализированное программное обеспечение.

Эргономические требования, определяют условия труда работников. Они характеризуют допустимые нормы нагрузки работников, комфортные условия работы, разграничение работы и отдыха, условия освещения, отопления, циркуляции воздуха. Для обеспечения эргономических требований могут выполняться мероприятия, рассмотренные в [212].

Современное видение проблемы обеспечения функционирования технических систем основано на рисках и минимизации их. В сфере данной концепции риск влияние человека обусловлен не только его индивидуально-личностными характеристиками и морально-психологическим состоянием, но и факторами, влияющими на его деятельность в данный момент. Все это должно учитываться в рамках реализации мероприятий по обеспечению безопасного и устойчивого функционирования системы. Таким образом, выделяют следующие индикаторы риска, связанные с человеческим факторов в системе [213]:

1. Проявления поведения.
2. Мотивы и потребности.
3. Эмоциональная сфера.
4. Типы акцентуации характера.
5. Когнитивная сфера.

6. Самооценка.

Факторы риска, присущие работникам, являются предпосылками к созданию условий нарушения функционирования элементов системы, объекта КИИ. В подавляющем случае они проявляются как отклонение от нормы поведения того или иного работника. Проявление данных факторов, как правило индивидуально и ситуативно, а также, как правило, проявляется комплексно. Все создает определенные трудности в их выявлении и оценке, особенно на объектах где работа в данном направлении не ведется или ведется на низком уровне. Работы в данном направлении должны проводится с привлечением значительного количества высоко квалифицированных экспертов: социологов и психологов, владеющих всем современным арсеналом опросных и психодиагностических методик, специалистов по безопасности, управлению персоналом и т.д.

## 2.6. Трансформация понятий надежность, живучесть, безопасность, помехоустойчивость, киберустойчивость, автономность и непрерывность в функциональную устойчивость

Устойчивость фундаментальное понятие, характеризующее одну из важнейших сторон существования множества различных систем, объектов в различных сферах жизни общества, государства, их свойство характеризующее возможность сопротивляться, не реагировать (без последствий для системы) на любые воздействия и события. С философской точки зрения устойчивость описывает постоянство системы, ее характеристики, свойства. Это может быть постоянство величины, структуры системы, количества и качества элементов, неизменность входных и выходных данных в разные моменты времени.

Термин устойчивость многообразен и в литературе встречается часто. Используется он в различных сферах и обозначает разные состояния и свойства систем, объектов, процессов и т.д. Общим для всех понятий устойчивости является то, что на интуитивном уровне понимается способность рассматриваемого объекта, системы, процесса реагировать на изменения в окружающей среде и внутренние процессы, сохраняя приблизительно одно и то же или близкое поведение на протяжении определенного (возможно, бесконечного) периода времени [214]. Строгое определение общей устойчивости, которое получило широкое распространение в мировой науке дал А.М. Ляпунов.

Согласно Ляпунова движение является устойчивым по отношению к величине, если можно подобрать настолько малые возмущения, чтобы разности этой величины и ее отклонения во все время движения не выходили из наперед поставленных границ [215, 216].

Такие границы будут определять так называемый коридор устойчивости, при рассмотрении которого необходимо четкое понимание устойчивость каких черт, характеристик, величин системы необходимо обеспечить в заданных значения коридора, а также определить воздействия и события по отношению к которым система будет устойчивой.

По Ляпунову для маятника задача устойчивости формулируется следующим образом [215, 216]: если сместить маятник из положения равновесия (Q=0) на некоторый угол, то может ли маятник вновь вернуться в положение равновесия Q=0 за достаточно длительное (возможно, бесконечное) время? Таким образом устойчивым по Ляпунову будет положение маятника, для которого Q=0. Положение Q $=180^{o}$ есть положение неустойчивого равновесия, поскольку сколь угодно малое отклонение от него в конце концов приведет систему в положение устойчивого равновесия Q=0.

В 1983 году Ляпунов отмечал, что для сложных объектов, систем можно рассматривать более общую задачу: об устойчивости того же движения, но по отношению не ко всем, а только к некоторым из определяющих его величин. В 1938 году на основе идей Ляпунова Малкин И.Г. указал некоторые условия переноса теорем Ляпунова на случай устойчивости по отношению к части переменных [217].

На основе работ Румянцева В.В., K. Peiffer и N. Rouche [218] в отдельное направление исследования устойчивости выделяется частичная устойчивость или устойчивость части переменных.

Понятие частичной устойчивости применимо для систем управления. Принципиальная необходимость рассмотрения устойчивости систем управления с точки зрения частичной устойчивости исследовалась в фундаментальных работах по теории управления Понтрягиным Д.С., Красовским Н.Н. и др. При рассмотрении системы достаточно контролировать, управлять лишь частью важных параметров, которые описывают состояние системы. Изменение значений остальных параметров либо будет зависеть от важных параметров, не будут изменяться, под действием различных факторов, либо не будут влиять на множество состояний системы, в которых она может находиться в рассматриваемых случаях. По смыслу, в процессе частичной стабилизации и управления оказывается меньшее воздействие на изучаемую систему, чем при стабилизации и управлении по отношению ко всем ее фазовым переменным, и в некоторой степени сохраняется естественная динамика [219] системы [220].

Устойчивость сложных технических систем, таких как ИУС, АСУ, ИС, СС СУ и др., рассматривают с позиции устойчивости системы с параметрами, ее характеризующими, либо через живучесть, надежность, киберустойчивость и помехоустойчивость.

Рассмотрение устойчивости с позиции других показателей может осуществлять через одно свойство или через несколько одновременно.

Рассмотрим основные понятия, характеризующие устойчивость и выделим основные особенности, позволяющие ее описать.

Общее понятие стойкости изделия (системы, объекта) к внешним воздействиям определяется в соответствии с ГОСТ 26883-86 Внешние воздействующие факторы (ВВФ). Термины и определения. Согласно нему стойкостью называется свойство изделия сохранять работоспособное состояние вовремя и после воздействия на изделие (объекта, систему) определенного ВВФ в течении всего срока службы в пределах заданных значений.

Устойчивость изделия к ВВФ является свойство изделия сохранять работоспособное состояние во время действия на него ВВФ в пределах заданных значений.

Под работоспособным состоянием согласно ГОСТ (ГОСТ 27.002-2015 Надежность в технике. Термины и определения) понимается состояние объекта, в котором он способен выполнять требуемые функции.

Под устойчивостью АС в защищенном исполнении к преднамеренному силовому электромагнитному воздействию понимается свойство АС в защищенном исполнении выполнять свои функции и сохранять параметры в пределах установленных норм вовремя и после воздействия на нее ВФ в течении всего срока службы в заданных условиях эксплуатации [221].

В работе [222] под устойчивость функционирования ИТКС понимается ее способность выполнять все требования в условиях всех видов воздействия.

В соответствии с ГОСТ [223] под надежностью объекта понимается свойство объекта сохранять во времени в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих способность объекта выполнять требуемые функции в заданных режимах, условиях применения, стратегиях технического обслуживания, хранения и транспортирования.

В соответствии с ГОСТ [224] под надежностью понимается свойство объекта сохранять во времени способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения, технического обслуживания, хранения и транспортирования.

В ГОСТ Р 53111-2008 Устойчивость функционирования сети связи общего пользования. Требования и методы проверки под устойчивостью функционирования сети электросвязи понимается ее способность выполнять свои функции при выходе из строя части элементов сети в результате воздействия дестабилизирующих факторов.

Надежность сети электросвязи — это свойство сети электросвязи сохранять способность выполнять требуемые функции в условиях воздействия внутренних

дестабилизирующих факторов.

Живучесть сети электросвязи — это свойство сети электросвязи сохранять способность выполнять требуемые функции в условиях, создаваемых воздействием внешних дестабилизирующих факторов.

В документе определен порядок оценки надежности и живучести основных направлений связи, а также требования к ним при различных уровнях внешних воздействий, однако в документе отсутствует информация о порядке обеспечения устойчивости ети и ее элементов, а также системы связи.

Согласно [225] надежность – комплексное свойство, которое в зависимости от назначения объекта и условий его эксплуатации может проявляться через безотказность, долговечность, ремонтопригодность, сохраняемость.

Под безотказностью понимается свойство объекта непрерывно сохранять работоспособное состояние в течение установленного времени или установленной наработки.

Ремонтопригодность – свойство объекта, заключающееся в приспособлении к предупреждению и обнаружению причин возникновения отказов, повреждений и устранению их последствий путем проведения ремонтов и технического обслуживания.

Техническое состояние объекта – совокупность подверженных изменению в процессе производства или эксплуатации свойств объекта, характеризуемая в определенный момент признаками (параметрами), установленными в технической документации.

Работоспособное состояние объекта – состояние при котором объект способен выполнять заданные функции, сохраняя значения, заданных выходных основных параметров в пределах, установленных нормативно-технической документацией.

Неработоспособное состояние при котором значение хотя бы одного заданного параметра, определяющего способность объекта выполнять заданные функции не соответствует требованиям документации.

Устойчивость сети есть способность сохранять целостность в условиях эксплуатации. Целостность же определяется, как способность взаимодействующих сетей связи обеспечить установление соединения и передачу информации. [226].

Трактовка понятий надежности и безопасности структурно-сложных систем проработана в работах И.А. Рябинина [227]. Под надежностью первоначально понимали только безотказность, впоследствии в нее включили ремонтопригодность, долговечность и сохраняемость, а в некоторых работах живучесть, безопасность и устойчивость [227, 228].

Под безопасностью понимается способность системы функционировать, не

переходя в опасное состояние, где под опасным состоянием определяется такое состояние при котором возникает значительный ущерб.

Под надежностью понимается способность системы сохранять свойства, необходимые для выполнения заданного назначения, при нормальных повседневных условиях ее эксплуатации в течении требуемого промежутка времени.

Под живучестью понимается способность системы сохранять свойства, необходимые для выполнения заданного назначения, при форсмажорных поражающих воздействиях, не предусмотренных условиями нормальной эксплуатации.

Под надежностью в [229] понимают свойство системы выполнять все заданные функции при определенных условиях эксплуатации в течении заданного времени с сохранением значений основных параметров в заранее установленных пределах. Надежность является эксплуатационной характеристикой системы, описывающей ее возможности по наработке на отказ в различных заданных граничных условиях.

Система работоспособна если она нормально выполняет заданные функции и ее основные параметры находятся в пределах нормы.

Для сложных систем характерна возможность выполнения своих функций, но с пониженной эффективностью. В сложных системах выход из строя какого-либо элемента не приводит к отказу всей системы.

В работе [230] устойчивость рассматривается с точки зрения противодействия компьютерным атакам. Понимается свойство, способность информационных сегментов (информационно-телекоммуникационные средства сбора, обработки и передачи информации) обеспечивать функционирование в условиях компьютерных атак.

В монографии [231] под киберустойчивостью ИТКС понимается способность ИТКС поддерживать управление в условиях воздействия КА.

Живучесть ИТКС – способность системы обеспечивать управление в условиях воздействия обычного и ядерного оружия противника.

Надежность ИТКС – способность обеспечивать военную связь, сохраняя во времени значения эксплуатационных показателей в пределах, соответствующих условиям эксплуатации, технического обслуживания, восстановления и ремонта.

Помехоустойчивость ИТКС – способность системы обеспечивать управление в условиях воздействия помех.

Трактовка понятия надежности и роль ее в социотехнических системах четко обосновано в статье Ю.В. Долгих и В.Н. Эйтингона «Надежность систем: основное понятия в приложении к организационному управлению» [232], где заложено неявное раскрытие

сущности, смысла понятия функциональной безопасности в процессе объяснения трактовки социотехнической системы.

В различных научных школах устойчивость рассматривается по-разному, как правило, ее оценка носит вероятностный характер и не учитывает динамику изменения состояний самой системы и окружающей обстановки. Кроме этого, устойчивость рассматривается как устойчивость функционирования объектов системы.

Существенным остается вопрос реагирования самой системы, системы управления и лиц, принимающих решение в случае нарушения функционирования системы. Исходя из решаемых задач и их важности система должна выявлять нарушения функционирования не только в режиме реального времени, но и предугадывать их. Время реакции на такие инциденты должно быть минимальным и стремится к нулю. При этом для обеспечения устойчивого функционирования необходим постоянный контроль процесса выполнения функций системы.

Под функциональной устойчивостью объектов КИИ, согласно Двилянскому А.А., понимается их способность выполнять требуемые функции как в расчётных условиях функционирования, так и в условиях, создаваемых внешними дестабилизирующими факторами (воздействие ЭМИ) с соблюдением определенной степень адекватности реализованных механизмов обеспечения живучести и помехозащищённости существующим в данной среде функционирования рискам при минимальных отклонениях от требуемых показателей устойчивости [233-236].

Данные технологии предполагают наличие в составе систем механизмов, которые должны реализовать новое качество - способность сохранения и/или восстановления возможности выполнения возложенных на систему функций при осуществлении деструктивных воздействий на нее и её элементы. Это качество трактуется как функциональная устойчивость систем [237-239].

Определим условия, при которых ИУС присуща функциональная устойчивость, предварительно уточнив такое важное понятие, как состояние системы. Под состоянием системы понимается некоторая совокупность параметров, отражающих с определённой точки зрения в каждый рассматриваемый момент времени наиболее существенные стороны ее функционирования [239].

В работах Машкова О.А. [240] функциональная устойчивость рассматривается в аспекте надежности и безопасности применения сложных автономных систем. Он приводит следующее определение ФУ: «Под функциональной устойчивостью системы понимается ее свойство сохранять на протяжении заданного времени выполнение своих основных функций в пределах, установленных нормативными требованиями, в условиях

противодействия, а также влияния потоков отказов, неисправностей и сбоев».

Существуют и другие подходы к формализации понятия функциональная устойчивость. Существует тесная связь понятия функциональная устойчивость с понятиями надежность, живучесть, отказоустойчивость, помехоустойчивость, киберустойчивость, непрерывность функционирования. Принципиальное отличие между ними: методы обеспечения функциональной устойчивости направлены не на уменьшение количества отказов, нарушений, воздействий (как традиционные методы повышения надежности, живучести, помехоустойчивости, киберустойчивости, отказоустойчивости технических систем), а на обеспечение выполнения функций, задач, целей системы, выполнение системой своего целевого предназначения, когда эти нарушения уже произошли или могут произойти.

В работах [237-239] функциональная устойчивость информационно-вычислительной системы трактуется как способность сохранять и/или восстанавливать возможности выполнения возложенных на систему функций при осуществлении деструктивных воздействий на ее элементы.

Понятие функциональная устойчивость [241] корпоративной сети передачи данных (КСПД) включает свойства надежности, живучести и безопасности, отражает способность сохранения и/или восстановления возможности выполнения, возложенных на КСПД функций, при деструктивных воздействиях (поражающих факторов, ПФ) на ее компоненты.

В работе Монахова Ю.М. [242] под функциональной устойчивостью информационных систем понимается новое качество – способность сохранения и/или восстановления данных (устойчивость) функций в условиях различного рода неблагоприятных воздействий.

Наряду с функциональной устойчивостью используется понятие функциональной безопасности, напрямую зависящая от функциональной устойчивости системы.

В ГОСТ Р МЭК 61508-4-2012 Функциональная безопасность систем электрических, электронных, программируемых электронных, связных с безопасностью. Часть 4. Термины и определения под функциональной безопасностью (functional safety) понимается часть общей безопасности, обусловленная применением управляемого оборудования и системы управления управляемым оборудованием, и зависящая от правильности функционирования электрическая/электронная/программируемая электроника систем, связанных с безопасностью, и других средств по снижению риска, где риск (risk) – это сочетание вероятности события причинения вреда и тяжести этого вреда.

Под устойчивостью к отказам (fault tolerance) понимается способность функционального блока продолжать выполнять необходимую функцию при наличии сбоев

или ошибок.

Методологической основой функциональной устойчивости может служить положения теории общей устойчивости, теории надежности, теории живучести, теории помехоустойчивости, теории киберустойчивости, учитывающей особенности ее использования. Каждая из производных устойчивости определяется причинами возникновения нарушения, отказа того или иного элемента системы, или всей системы в целом. Особенностью функциональной устойчивости является рассмотрения не причин, а факта нарушения выполнения функции, прогнозирования его наступления и оценки последствий и рисков, связанных с этим. Другой особенностью, характерной для сложных технических систем, является необходимость оценки функциональной устойчивости через способность выполнять заданный перечень функций и задач, независимо от действующих факторов, изменяющейся обстановки, наличие внутренних сбоев и снижения надежности, наличие внешних воздействий различных факторов, которые могут привести к снижению киберустойчивости, помехоустойчивости, живучести, нарушений безопасности, влияющих на устойчивость.

Таким образом, автономность и непрерывность функционирования системы будет определяться ресурсным обеспечением системы. Отличие данных понятий, характеризующих функциональную устойчивость, заключается в том, что автономность определяется способностью выполнять требуемый перечень функций системы в условиях отсутствия пополнения ресурсов системы, а непрерывность функционирования – в условиях пополнения ресурса.

Развитие и становление теории устойчивости тесно связано со становлением и развитием кибернетики и теории информации. Особенностью кибернетики является изучение и синтез сложных динамических систем, различных по физической природе. Она абстрагируется от вещественного содержания систем, стремясь сформулировать общие для **них** законы организации и информационных связей. С развитием кибернетики в теорию устойчивости входят новые идеи и принципы, источником которых является кибернетический анализ устойчивости в живой природе (синтез устойчивых систем из ненадежных элементов на основе принципа избыточности, исследование свойств кодов обнаружения и исправления ошибок) [243].

Проблема функциональной устойчивости оказывается тесно связанной с принципиальной применимостью идей и методов кибернетики и родственных ей наук в различных областях знания.

Кибернетическая система - это сложная динамическая система, развивающийся во времени и пространстве целостный объект, состоящий из большого числа элементов и

связей и обладающий свойствами, которые отсутствуют у элементов и связей, его образующих [244]. В основе ее функционирования лежит информационное взаимодействие между элементами системы и между системой и внешней средой, причем в этих взаимодействиях важную роль играют обратные связи (требования от целей к задачам, но важную роль играют инструкции - руководство от решения задач к выполнением функций).

Сложная динамическая система, рассматриваемая с точки зрения процессов и операций управления, т. е. процессов и операций, не водящих систему из одного состояния в другое и обеспечивающих надежность и устойчивость, называется системой управления [245].

Каждый процесс или их совокупность, которые выполняются в системе могут характеризовать выполнение задач, функций, целей, поэтому процессы определяют функциональную устойчивость сложной технической динамической системы.

Анализируя представленные определения устойчивости, надежности, живучести, помехоустойчивости и киберустойчивости существует необходимость расширения данных понятий, связанная с общей для них характеристикой, заключающейся в обеспечении выполнения системой функций, абстрагирования от причин приводящих к нарушению выполнения функций системы, оценки не только всей системы и ее элементов, как физических объектов, а оценки процесса выполнения требуемого перечня функций, задач, целей, что будет способствовать саморазвитию системы, направленному на выполнение целевого предназначения системы и процессов в ней.

Таким образом, под функциональной устойчивость ИУС предлагается понимать свойство системы, обеспечивать выполнение требуемого перечня функций, задач, целей и/или процессов, их характеризующих, в установленные сроки за счет ресурсов системы, при сохранении значений параметров требований, их характеризующих, в заданных пределах в условиях воздействия различных дестабилизирующих факторов, которые могут привести (приводят) к нарушению их выполнения, т.е. отклонения значений параметров требований, их характеризующих, от заданных пределов.

Теория функционально устойчивых систем является результатом системного подхода к решению проблемы повышения устойчивости сложных систем (надежность, живучесть, помехоустойчивость, киберустойчивость, непрерывность и автономность функционирования, безопасность функционирования, отказоустойчивость, отказобезопасность). При этом функциональная устойчивость является свойством, принципиально отличным от надежности, общей устойчивости, отказоустойчивости. Методы обеспечения функциональной устойчивости направлены на более полное и эффективное производство и использование располагаемых ресурсов сложной технической

системы. Система через реализацию обратной связи выступает не как пассивный объект, выполняющий определенный сценарий, а как активный участник процесса функционирования, направленного на достижение поставленных целей, выполнения функций и задач. Причина невозможности обеспечения необходимого уровня функциональной устойчивости систем дистанционного автоматизированного управления сложными объектами в условиях целевой неопределенности и противодействия состоит в принципиальной ограниченности применяемой схемы «силового» управления, – достижения желаемого фазового состояния объекта исключительно за счет задания внешнего силового воздействия. Системное решение рассматриваемого вида задач управления состоит в изменении принципа управления – в использовании для управления внутренней структуры и энергоинформационных процессов объекта управления в виде различных эффектов самоорганизации (принципа «синергетического» управления). Реализовать принцип синергетического управления при синтезе систем управления можно путем двухэтапной процедуры последовательной оптимизации по гомеостазисному и целевому критериям. В этом случае задача синтеза сводится к последовательному решению задачи распределения функций управления между оператором (операторами) и автоматическим системами и задачи синтеза нелинейного регулятора. Проблему обеспечения функциональной устойчивости можно рассматривать как одну из актуальных научных задач современной теории управления [240].

## 2.7. Постановка проблемы обеспечения функциональной устойчивости ИУС АН, как объекта критической информационной инфраструктуры

Для описания процесса функционирования ИУС АН предлагается использовать формально-аксиоматический метод через множество взаимосвязанных и распределенных в пространстве ресурсов системы, описываемых двумя типовыми противоположными по смыслу состояниями.

Вопросами описания системы с двумя противоположными состояниями занимается математическая логика. Проведенный анализ показал, что аппарат математической логики не связан со временем, и его возможности страдают от концептуальной неполноты (описывает состояние системы без динамики) и не удовлетворяют утверждению, что необходимо управлять, обеспечивать функционирование на множестве распределенных ресурсов в пространстве и времени, которые имеют два противоположных состояния [23].

Это потребовало разработки нового подхода, позволяющего исключить элемент использования вербальных моделей для формирования и осуществления функционирования ИУС АН.

Профессор А.В. Чечкин является основателем научного направления по проблемам интеллектуализации систем и математической информатики. Опираясь на его теоретические разработки [246, 247], рассмотрим ИУС на основе автоматизации и интеллектуализации системы управления, что позволит рассматривать систему и находить решения при возникновении в том числе, не штатных ситуаций. Это делает интеллектуальную ИУС информационно устойчивой (живучей) по сравнению с кибернетической системой (автоматной).

Возникает проблема описания функции (производительности) на множестве логических переменных через функцию, как правило [23]. Логические переменные в полной мере не могут описать пространство и время, поэтому предлагается использовать теоритические подходы профессора В. Г. Бурлова.

Для определения взаимосвязи между элементами системы и выполняемыми ими задачами использована идея профессора В.Г. Бурлова [22], для чего каждый элементв системы, и она сама выступают в качестве объекта управления воздействие на которую позволяет поддерживать выполнение ее предназначения с тебуемой эффективностью. Наличие такой связи позволяет получить новые условия существования ИУС и процесса ее функционирования, определить функциональную связь между элементами системы и реализовать обратную связь для поддержания устойчивого процесса функционирования системы.

Процессы функционирования и управления ИУС основаны на концепции системотехники и синтеза системы, изложенной в фундаментальных трудах Г.Х. Гуда, Р.Э. Макола [16], Б.А. Резникова, В.Н.Калинина [17, 18], А.В.Ильичева [19, 20], Ю.Г.Ростовцева [21], В.Г. Бурлова [22].

В работе [16, 23] Г.Х. Гуд и Р.Э. Макол, стоявших у истоков системотехники, проектирование сложной системы рассматривается на двух стадиях.

1. Выбор и организация функций и структуры системы в целом.

2. Выбор и проектирование компонентов системы.

Первая стадия называется внешним проектированием. Вторая стадия внутренним проектированием. Существует два основных подхода к проектированию системы - на основе анализа и на основе синтеза.

При использовании анализного подхода оценивается возможности использования имеющего ресурса для получения требуемого набора свойств, а также прогнозируется ее поведение при изменений условий.

Операция синтеза предполагает наличие у специалиста необходимых рабочих характеристик предполагаемого объект синтеза. В процессе синтеза происходит выбор набора элементов системы, взаимодействие которых позволит выполнить заданные требования и реализовать требуемые рабочие характеристики.

В работе [16] отмечается приоритет использования синтезного подхода, что на практике не всегда применимо.

По первому направлению, разработана большая совокупность методов. Так особый самостоятельный общенаучный интерес представляют монографии А.В.Ильичева, Ю.И.Рыжикова. Г.Б. Петухова. При этом следует отметить, что Ю.И.Рыжиков [253], реализует для системотехнических объектов принцип сохранения потенциальной эффективности применения системы на примере создания теории управления запасами.

Б.А. Резников в [17] исследовал проблемы эффективности возникает в связи с решением трех задач.

1. Анализа эффективности функционирования реальной системы, эффективности проведения конкретного плана действий.

2. Выбора из некоторого конечного явно представленного множества вариантов систем или вариантов курсов действий в варианте плана действий, обладающего наибольшей потенциальной эффективностью.

3. Системного и структурного синтеза, удовлетворяющего тем или иным требованиям эффективности (оптимальности).

Наиболее полно проработаны задачи 1 и 2. В работе Г.Б. Петухова [253] изложены основные положения теории эффективности целенаправленных процессов. В работах автора рассматривается внешнее проектирование (определение облика системы) и внутреннее проектирование (проектирование характеристик структурно-параметрических и эксплуатационных свойств системы). При решении третьей задачи - задачи синтеза системы, удовлетворяющей заданным требованиям эффективности возникает ряд осложнений. В.Г. Бурловым [22] задача синтеза понимается как определение структуры и характеристик объекта (его модели), обеспечивающих его качество (заданное или оптимальное). Он предлагает формировать значения некоторых параметров, не связанных между собой концепцией системы. В основу положено соотношение «критерия пригодности по эффективности». Отсутствие системных связей между определяемыми параметрами не позволяют формировать систему от требуемой эффективности. По сути

отсутствует условие замыкания между системой (моделью) и действием по изменению состояний системы(ситуации) с целью достижения требуемой эффективности применения.

В работах А.В. Ильичева [20] изложены системный, операционный и неопределенно-стохастический подходы к исследованию эффективности технических систем. Рассмотрены методы моделирования как основы анализа эффективности элементов системы для этапа ее проектирования от подготовки исходных данных до выработки конкретных рекомендаций. Под анализом эффективности понимается соответствующее определение необходимых количественных показателей в зависимости от принимаемых на этапе проектирования технических решений по изучаемому элементу в заданном диапазоне условий его непосредственного применения.

Рассматривая второй основной подход к разработке систем следует обратиться к классификации задач синтеза, предложенной А.Д. Цвиркуном, где решаются три класса задач [255].

1. Синтез структуры при заданных функциях и алгоритмах функционирования системы.

2. Синтез функций, алгоритмов функционирования и правил поведения элементов заданной иерархической системы.

3. Синтез структуры сложных систем, включающий как оптимизацию функционирования системы, так и распределение функций по узлам системы и выбор их состава.

Наибольшую проработку получило второе направление. В этом направлении получили важные общенаучные результаты, например, Б.А. Резников, В.Н.Калинин [17, 18] и др.

В меньшей мере проработаны вопросы первого направления. Однако в этом направлении исследования, тоже полученные важные общенаучные результаты, которым следует отнести в первую очередь работы Цвиркуна А.Д. [255] по созданию теории синтеза структуры системы при заданных функциях и алгоритмах функционирования системы.

В работе В.Г. Бурлова [22, 23] рассматривается круг проблем, примыкающих к третьему направлению синтеза систем, но при этом рассматриваются задачи с расширенным множеством свойств (ресурсные и временные характеристики, постановка задач и др.)

В работе Ю.Г. Ростовцева [21, 23] рассмотрен ситуационный подход к решению задач синтеза системы на этапе предметно-практической деятельности. Проблема синтеза системы возникает из-за неопределенности знания, для чего предлагается поиск условия замыкания. Он разработал математическую модель процесса замыкания, которая есть суть

отношения множества известных ситуаций и множества известных действий. Главная проблема - это построение собственно отношения - условия замыкания - для конкретной предметной области.

В.Г. Бурлов [22] конкретизировал идеи ситуационного подхода Ростовцева Ю.Г. и получил условие замыкания для синтеза динамической системы на основе, разработанного им, принципа сохранения потенциальной эффективности применения системы и осуществил синтез модели системы и способов ее применения в условиях конфликтных ситуаций.

Использование условия замыкания для процесса функционирования ИУС АН, состоящей из разнесенных в пространстве ресурсов, в совокупности с процессным подходом позволяют разработать методологические основы обеспечения функциональной устойчивости ИУС АН и осуществлять ее синтез.

Формализация ИУС позволит определять возможности сложной пространственно и функционально распределенной иерархической человеко-машинной системы с централизованным управлением всей системой и децентрализованным управлением ее части, а также включающей совокупность технических и программных средств, обеспечивающих выполнение целевого предназначения системы.

С ростом дестабилизирующих воздействий на систему, увеличение нагрузки на систему и ее элементы возрастает значение адекватного и эффективного построения системы с учетом следующих факторов:

увеличивается потенциальный ущерб от воздействия дестабилизирующих факторов, возникающий из-за нарушения или невозможности выполнения требуемых функций системой;

возрастает нагрузка на элементы системы, а также потребность в получении информации о состоянии системы в режиме реального времени;

традиционных подходов к управлению системой, анализа и обработки данных системы не хватает, что определяет необходимость большей автоматизации и интеллектуализации процесса управления системой, разработки методов и методик их обеспечивающих, и позволяющих прогнозировать состояние системы и его изменение в режиме реального времени;

меры превентивного выявления нарушений функционирования системы должны основываться на оценке рисков нарушения функционирования, их уменьшения.

***Актуальность предлагаемого исследования*** определяется необходимостью обеспечения устойчивого функционирования ИУС, выступающей в качестве объекта КИИ, эффективного противодействия такой системы воздействию различных

дестабилизирующих факторов, сложностью современных технических систем, обусловленных их размерами, выполняемыми функциями и задачами, увеличением их количества, а также большим пространственным разносом ее элементов, потребностью в получении информации о состоянии системы в режиме реального времени, с одной стороны, а с другой стороны разработки способов, методов и методик обеспечения функциональной устойчивости таких систем, использование которых позволят системе выполнять целевое предназначение системы в условиях существующего методического аппарата, позволяющего только обнаруживать факты воздействия на систему и нарушения ее функционирования, но и упреждать возникновение таких ситуаций, в которых системы не способна выполнить целевое предназначение.

Существует потребность исследования и разработки методологии обеспечения функциональной устойчивости ИУС, принципов и способов синтеза системы на основании ее функционального предназначения.

## 2.8 Вывод по Главе 2

1. Процессный подход внедрен в оценку системы качества различных отраслей промышленности. Реализация его для ИУС позволит с одной стороны рассматривать систему не только как совокупность физических объектов, но как множество процессов, подпроцессов, функций и задач выполнение в системе которых направлено на достижение цели системы, а с другой стороны реализовать замкнутый цикл управления, включающий контроль ИУС и позволяющий оценивать эффективность достижения цели системы.

2. Автоматизация процессов управления, внедрение процессного подхода привели к активному использованию информационно-управляющих систем. Главную ценность в таких системах представляет информация: о состоянии системы, ее элементов, контролируемых параметрах, их значении и т.д. Информация о нарушениях функционирования системы, изменении параметров, характеризующих работоспособность системы поступает человеку, который принимает решение на те или иные действия. Информация о ресурсе системы используется для своевременной реакции на такие события.

3. Наличие в системе ресурса позволяет выполнить целевое предназначение системы. Использование новых технологий, новых материалов могут значительно повысить эффективность функционирования ИУС. Ресурс выступает только как средство обеспечения выполнения целевого предназначения системы и его составляющих. Ужесточение требований к системе, ее составляющим ведет к необходимости постоянной модернизации ресурса, увеличению его качества и количества. При этом, в системе должно

присутствовать информационное обеспечение ресурсного состояния системы, для возможности своевременного его использования в системе. Наряду с техническим ресурсом большое значение для системы имеет человеческий ресурс. Отсутствие требуемых характеристик (знания, навыки, умения и др.) не позволят эффективно выполнять свой функционал.

4. С каждым годом количество и качество дестабилизирующих факторов только растет. Влияние их на систему может привести к разным последствиям, в том числе, к полному разрушению системы. Наличие у системы критичности накладывает определенные требования по невозможности нарушения их функционирования. Оценивая влияние ДФ на ИУС необходимо комплексно подходить к этому вопросу. Важнейшим критерием влияния ДФ на ИУС должен быть фактор нарушения функциональной устойчивости системы.

5. Проанализировав определения устойчивости, надежности, отказоустойчивости, живучести, помехоустойчивости, киберустойчивости, непрерывности и автономности функционирования можно сделать вывод, что существует необходимость расширения данных понятий, связанная с общей для них характеристикой, заключающейся в обеспечении выполнения системой функций, абстрагирования от причин приводящих к нарушению выполнения функций системы, оценки не только всей системы и ее элементов, как физических объектов, а оценки процесса выполнения требуемого перечня функций, задач, целей, что будет способствовать саморазвитию системы, направленному на выполнение целевого предназначения системы и процессов в ней. При этом функциональная устойчивость является свойством, принципиально отличным от надежности, общей устойчивости, отказоустойчивости. Методы обеспечения функциональной устойчивости направлены на более полное и эффективное производство и использование располагаемых ресурсов системы.

# 3. КОНЦЕПЦИЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩЕЙ СИСТЕМЫ АЭРОГЕОФИЗИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Для оценки функциональной устойчивости современной ИУС АН необходимо ее описания с точки зрения процесса функционирования, в котором учитывается не только элементы (объекты) системы, но взаимосвязанные функциональные характеристики.

В практике принятия управленческих решений в СТС возникают трудности в ее формализации, что обусловлено большими объемами информации, циркулирующей в системе, их не структурированностью, количеством субъектов (s), объектов (o) управления и их возможностями, которые в процессе функционирования системы могут меняться [66, 256, 257].

Еще одной особенностью таких систем может быть наличие в ней объектов, элементов, которые с точки зрения структуры системы могут быть разделены на элементы, а с точки зрения выполняемых ими функций и задач их деление будет бессмыслено. Кроме этого трудности вызывает описание таких элементов системы как человек, что обусловлено сложностью формализации модели поведения людей в различных ситуациях.

В рамках исследования вопросов описания структуры системы и процесса ее функционирования использовались теории модулей, теории паттернов и других методов модульного моделирования, показавших широкие возможности применения принципа модульности. Такие модели не учитывали динамику изменения состояния систем, возможность значительного увеличения количества элементов в ней, динамику изменения состояния окружающего пространства, а также функциональную взаимосвязь между элементами системы. Все это способствовало проведению теоритических изысканий в области построения динамической структурно-функциональной модели системы, анализу ее возможностей по реализации потребностей ЛПР [64, 258-262].

## 3.1. Анализ подходов к описанию процесса функционирования ИУС АН, как объектов критической информационной инфраструктуры

Для моделирования процесса функционирования системы необходимо рассмотреть существующие подходы, концепции описания таких систем. Любая система сначала проектируется, осуществляется оценка ее возможностей и способность выполнить предназначение, которое в ней закладывается. Процесс построения системы

осуществляется на основе результатов проектирования, а в процессе функционирования состав и структура системы могут меняться в зависимости от условия функционирования и изменения обстановки.

Концепция это определенный набор взглядов, способ понимания, определения, трактовки объекта, предмета, явления, процесса и т.д., главная идея их системного описания. Конц**е**пция - система взглядов на что-нибудь; основная мысль. Термин «конц**е**пция» употребляется также для обозначения ведущего замысла, конструктивного принципа в научной, художественной, технической, политической и др. видах деятельности [23].

Под сложной системой будем понимать систему, состоящую из множества элементов, каждый из которых можно рассматривать как отдельный функционально завершенный элемент, объект, систему, объединенные в единое целое строгими функциональными связями в соответствии с определенными принципами или связанные между собой заданными отношениями [23]. Такие элементы можно разделить на более мелкие объекты, подсистемы и т.д., каждый из которых предназначены для решения какого-то набора задач. Таким образом можно проводить деление до момента получения простейшего элемента, предназначенного для выполнения только одной простейшей задачи, при этом дальнейшее деление будет бессмысленно для заданного функционала. Общий функционал системы будет определяться совокупностью возможностей элементов системы, характеризуемых набором функций и задач, которые они выполняют, а также элементов, возникающих при появлении связей, между ними. К таким системам относятся современные системы управления, связи, навигации и позиционирования, информационные, контроля, поддержки принятия решения, информационно-управляющие, автоматизированные системы управления, телекоммуникационные сети и другие.

Философия научного познания выступает в качестве основополагающей концепции описания любой системы. В основе философского описания систем лежат законы диалектики [263, 264].

Основополагающая концепция к описанию систем это философия научного познания, основанная на диалектике [263, 264]. В работах по философии научного познания [265-267] при описании объектов окружающего мира выделяют три основных элемента: объект, движение и всеобщая связь, которые в рамках законов диалектики связанны вербальной слабоструктурированной моделью. Базовые элементы выделяются из неразрывной связи материи (объекта) и её движения (действия) в рамках всеобщей связи явлений при отсутствии как частной, так и общей формализации.

Таблица 3.1 – Подходы к описанию ИУС

| № | Научная концепция | Авторы | Законы, закономерности | Базовые элементы | | Связь между элементами | Формализация отдельных элементов | Общая связь между элементами | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | Характеристика | Количество | | | Формальная | Экспериментальная |
| 1 | Философия научного познания | Спиркин А. Г. и многие др. | Законы диалектики | 1.Объект 2.Движение (действие) 3.Всеобщая связь (предназначение объекта) | 3 | Вербальная Слабо структурируемая | Нет. | Нет | Нет |
| 2 | Научная теория | Академик АН СССР Афанасьев В.Г. | Основной принцип, реализующий идею создания системы | 1.Предмет 2.Возникновение и функционирование 3.Предсказание развитие предмета | 3 | В целом вербальная | Да | Нет | Нет |
| 3 | Теории функциональных систем | Академик АН СССР Анохин П.К. | Системообразующий фактор - полезный результат системы, | 1.Взаимосодействующие компоненты. 2.Действие компонентов. 3.Полезный результат | 3 | Вербальная Экспериментальная | Нет. | Нет | Да |
| 4 | Теория потенциальной эффективности сложных систем | Флейшман Б.С. | 1.Об обратной связи 2.О надёжности 3.О помехоустойчивости | 1.Структура 2.Поведение 3.Фиксация цели | 3 | Вербальная | Да. | Нет | Нет |

| № | Научная концепция | Авторы | Законы, закономерности | Базовые элементы | | Связь между элементами | Формализация отдельных элементов | Общая связь между элементами | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | Характеристика | Количество | | | Формальная | Экспериментальная |
| | | | 4.Об управляемости 5.О самоорганизации. и т.д. | | | | | | |
| 5 | Теория систем (Основы единого информационного поля) | Денисов А.А. Волкова В.Н. (СПб) | 1.Взаимодействия части и целого 2.Иерархической упорядоченности 3.Функционирования и развития 4. Целеобразования | 1.Структура 2.Функционирование 3.Цель | 3 | Вербальная | Да | Нет | Нет |
| 6 | Теория эффективности целенаправленных процессов (ЦП) | Петухов Г.Б. | Законы распределения и их варианты. | 1.Модель объекта (ВТС) 2. Модель условий функционирования ВТС 3.Модель ЦП функционирования системы | 3 | Вербальная | Да | Нет | Нет |
| 7 | Теория управления динамиче | Калинин В.Н. Резников Б.А. | Правила построения математической | 1.Задача наблюдения состояния системы. | 3 | Вербальная в целом, | Да | Нет | Нет |

| № | Научная концепция | Авторы | Законы, закономерности | Базовые элементы | | Связь между элементами | Формализация отдельных элементов | Общая связь между элементами | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | Характеристика | Количество | | | Формальная | Экспериментальная |
| | скими системами | (СПб) | структуры, заданной на шкале множеств. | 2.Задача наблюдения среды. 3.Задача управления динамической системой | | | | | |
| 8 | Теория конструирования алгоритмов управления | Калинин В.Н. Резников Б.А. (СПб) | Правила построения математической структуры, заданной на шкале множеств. Принцип разделения в проблеме выбора. | Пара алгоритмов 1.Алгоритм наблюдения (Рецепт формировании я оценки состояния) 2.Алгоритм управления на основе полученной оценки. | 2 | Формальная и Вербальная | Да | Да | Да |
| 9 | Теория массового обслуживания | Рыжиков Ю.И. | Система дифференциальных уравнений Колмогорова Законы сохранения | 1.Процесс образования заявки на заявки на обслуживание. 2. Процесс обслуживания. Дополнительно: - дисциплина очереди | 2 | Формальная | Да | Да | Да |

| № | Научная концепция | Авторы | Законы, закономерности | Базовые элементы | | Связь между элементами | Формализация отдельных элементов | Общая связь между элементами | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | Характеристика | Количество | | | Формальная | Экспериментальная |
| 10 | Теория конфликта | Дружинин В.В., Конторов А. С., Конторов М.А. | Принципы построения и функционирования гомеостаза в системе. | 1.Предмет 2.Возникновение и функционирование 3.Предсказание развитие предмета | 3 | Вербальная в целом | Да | Нет | Нет |
| 11 | Теория синтеза облика (модели) и способов применения системы | Бурлов В.Г. | Устойчивая, объективная повторяющаяся связь свойств объекта и свойств его действия при фиксированном предназначении. (Закон сохранения целостности объекта) | 1.Объект (модель). 2. Действие (модель) 3.Предназначение (модель) | 3 | Формальная и Вербальная | Да | Да | Да |

Базовые элементы концепции описанию систем в философии научного познания:

Объект (материя).

Движение (действие).

Всеобщая связь (предназначение объекта).

На основании законов диалектики с позиции философии научного познания системы описываются, как вербальные слабо структурируемые модели с использованием трех компонентов.

Концепция моделирования системы в научной теории изложена в работах академика АН СССР Афанасьева В.Г. [23, 267-270]. Научная теория в самом общем смысле является системой знаний, которая позволяет объяснить возникновение, функционирование предметов, явления, процессов существующей действительности, описывать объекты окружающего мира, предсказать их поведение, развитие. Представляющая теорию система логических форм (понятий и категорий, суждений и умозаключений, принципов, законов) поддаётся экспериментальной, практической проверке или логической верификации.

Логика движения объективно существующей системы – главный ограничитель логического движения в теоретической системе. Никакая теория не должна быть больше, нежели многообразие, сложность и противоречивость системы реальности.

Основой теории является идея. Идея выступает как первый и главный принцип теории, остальные принципы базируются, конкретизируют или отталкиваются от идеи формируя новое знание, находят отображение в законах, понятиях, категориях, которые в свою очередь являются конкретизацией принципов. Системы в этом подходе рассматривается, как совокупность принципов, законов и понятий, находящихся в единстве.

В работах академика АН СССР Афанасьева В.Г. по научной теории [267, 268, 271], выделяется три базовых элемента, связь между которыми определяется вербально - формальной моделью в рамках основного принципа, реализующего идею создания системы. Они определяют связь между объектом и условиями его возникновения, существования (функционирование) и развития.

К таким базовым элементам относятся:

Объект.

Условия его существования: возникновение и функционирование.

Предсказание развитие объекта.

В основе данной научной теории лежит идея создания и развития системы, основанная на трех базовых принципах, описанных в виде вербально - формальная модели системы.

Академик АН СССР П.К. Анохина в своих работах [272] заложил основы общей теории функциональных систем, которые применяются для моделирования СТС, АСУ, ИУС, ИС, СС и т.д. В понимании П.К. Анохина, система представляет собой что-то упорядоченое, организованное, собранное вместе. Правило, условие, критерий по которому

происходило объединение элементов в систему отсутствовало. Вариант выработки такого правила для СТС был предложен Бурловым В.Г. [22, 273].

Эффективность использования теории систем будет определяться выбором критерия объединения элементов в единое целое, существование которого направленно для выполнения заданной цели. Отсутствие такого критерия для системы или ограниченность выбора ставят систему в жесткие рамки получения результатов ее деятельности.

Фактором, определяющим существование системы, должно быть, например, ее функциональное предназначение, определяющее цель ее создания и функционирования. Результативность функционирования системы, ее полезность будут определяться степенью достижения такой цели. Нарушение функционирования системы, предпосылки к срыву выполнения ее целевого предназначения являются основание оценки возможности существования данной системы и формирования условий перехода ее из текущего состояния в такое состояние в котором она способна будет выполнить свои цели. Новое состояние может характеризоваться новой функциональной характеристикой, новой структурой, формируемых в результате синтеза системы. Такой подход позволяет оценивать изменение системы, эффективность ее функционирования в различных условиях обстановки и степень достижения целевого предназначения. Реализация системного подхода, завязанная на целевое предназначение системы, позволит через определение связей между элементами системы формировать такое их взаимодействие, которое позволило бы достигать требуемый полезный результат ее деятельности. Максимальная эффективная структуры построения системы будет характерна для системы с минимальной свободой изменений состояния ее элементов, которые приводили бы к нарушениям их функционирования и влияли бы на выполнение целевого предназначения. В этом случае, элементы системы максимально освобождаются от связей, ограничивающих их функционал, а ограничение степени свободы изменения состояния системы и ее элементов производится в рамках невозможности выполнения требуемых функций и задач и максимально расширяется для состояний, направленных на достижение целевого предназначения. Данная концепция ориентирована на достижение полезного результата деятельности системы.

Развитие теория функциональных систем получила в трудах Анохина П.К. [274-276]. Автор в создании системы ориентируется на полезный результат ее функционирования на основе объекта (системы), описываемого экспериментальной моделью.

1. Основная закономерность общей теории функциональных систем. Системообразующий фактор.

2. Представление объекта в общей теории систем в виде экспериментальной модели единой системы, состоящей из взаимосвязанных друг с другом элементов (подсистем). Описание объекта.

Действие.

Результат функционирования системы, предсказание ее развития (планируемый результат).

Дальнейшее развитие общей теории функциональных систем опирается на описании системы исходя из планируемого полезного результата ее функционирования, на основе которого сам объект (система) представляется экспериментальной вербальной моделью.

Теория потенциальной эффективности, изложенная в трудах Б.С. Флейшмана стала основой концепции моделирования СТС [277, 278]. Использование теории позволяет исследовать ограниченный класс сложных технических систем с получением частных результатов или широкий класс простых систем с получение общих результатов.

В своих работах Б.С. Флейшман опирался на следующие теории (направления):

потенциальной эффективности сложных систем;

исследование операций;

эвристическое программирование.

Теория потенциальной эффективности сложных систем содержит системную интерпретацию результатов теории информации Шеннона, теории игр Фон Неймана, а также новые результаты в области теории надёжности и теории живучести. Она (теория) занимается исследованием не только текущего состояния объекта, но и прогнозированием его изменения в будущем, что отмечав в своих работах родоначальник кибернетики Эшби У.Р. [279].

Флейшман Б.С. в рамках теории потенциальной эффективности [119, 277, 278] для описания процесса функционирования системы использовал следующие базовые элементы: структура, поведение, фиксация цели.

В работах В.Н. Волковой и А.А.Денисова предложена концепция моделирования сложной системы в теории систем и системного анализа [280-282]. Предложенный подход имеет определенные ограничения, не позволяющие при описании объектов окружающего мира, рассматривать развивающиеся системы с активными элементами.

Структура, поведение (функционирование) и цель выступают в качестве базовых элементов при построении формальных моделей в работах В. Н. Волковой и А.А. Денисова по теории систем и системному анализу.

Г.Б. Петуховым в работах [253, 283] предложена концепция эффективности целенаправленных процессов (ЦП). Критерием оценки эффективности системы при ее

построении является степень влияния используемых средств для достижения целей системы, через ее функциональные характеристики:

результат (результативность) - получаемый от использования системы целевой эффект;

результативность, характеризующаяся получаемым целевым эффектом — результатом;

обеспеченность всеми видами ресурса (людские, материально-технические, энергетические, информационные, финансовые и т.п.), который предназначен для получения целевого эффекта;

оперативность, отражающая расход времени, необходимого для достижения цели.

Теория эффективности ЦП оперирует понятиями анализа и синтеза процесса функционирования системы [283], в ней используют три базовых взаимосвязанных элемента: модель объекта; модель условий функционирования системы; модель ЦП функционирования системы.

В.Н. Калинин и Б.А. Резников прорабатывали концепцию управления динамическими системами (ДС) [18]. Моделирование таких систем осуществлялось по правилам построения математической структуры, заданной на шкале множеств. Задачи наблюдения за состоянием системы, средой и задачи управления ДС являются базовыми элементами теории. В своих работах В.Н. Калинин, Б.А. Резников исходили из необходимости корректировки математической модели структуры и параметров динамической системы при изменяющейся структуре реальной системы, описываемой этой моделью.

Развитие этой теории [18] реализовано в концепции конструирования алгоритмов управления. Моделирование системы осуществляется на основе принципа разделения в проблеме выбора и правил правила построения математической структуры системы, заданной на шкале множеств. Элементами теории выступают два алгоритма:

Алгоритм наблюдения (рецепт формирования оценки состояния).

Алгоритм управления на основе полученной оценки.

В основе подхода лежит возможность решать задачу оптимизации с использованием алгоритмов, за конечное время. Методы динамического программирования и метод ветвей и границ могут быть реализованы в различных вариациях, что позволяет различать соответствующие алгоритмы, ориентированные, например, на решение задач целочисленного и комбинаторного программирования [23, 269].

Теория массового обслуживания (ТМО) с ожиданием заявок использовалась Ю.И. Рыжиковым [252] для исследования моделей СТС, где базовыми элементами выступают: дисциплина очереди и процессы образования заявок и их обслуживание.

Использование простейшего потока заявок, определяемого как последовательно следующие друг за другом события, является основным требованием в ТМО. Эффективность и условия функционирования системы связываются в ее математической модели. Для случайных процессов строят граф, для описания которого используют дифференциальные уравнения Колмогорова.

В работах В.В. Дружинина, А. С. Конторова и М.А. Конторова [284], система рассматривается в рамках теории конфликтов. Конфликт появляется на стыке взаимодействия сложных систем. В теории формируются математические структуры и функциональные пространства описания конфликтов.

Основой теории конфликта являются принципы построения и функционирования гомеостаза в системе. Здесь используется три базовых взаимосвязаных вербальной моделью для создания системы элемента: предмет; возникновение и функционирование предмета; предсказание развитие предмета.

В основе теории синтеза облика (модели) и способов применения системы [22, 23, 270, 273] лежит закон сохранения целостности объекта, суть которого заключается в том, что при наличии устойчивой, объективной повторяющейся связи свойств объекта и свойств его действия позволяет обеспечить фиксированное предназначение системы. Идея создания объекта для выполнения целевого предназначения в рамках его целостности может описываться тремя базовыми элементами (моделями) теории: объект (модель); действие (модель); предназначение (модель).

## 3.2. Понятие риска. Теория управления риском

В процессе существования любой сложной системы ею выполняются определенные виды деятельности, решаются задачи, выполняются функции. Сама система функционирует в интересах кого-то или чего-то, при этом определяется целенаправленность процесса ее функционирования, который ограничивается потребностями ЛПР, требованиями к системе, к этому процессу. В явлениях и процессах, конкретизирующих функционирование системы, действуют определенные законы и закономерности. Знание сущности построения системы, закономерностей ее функционирования определяют ее способность достигать свое целевое предназначение, которая обеспечивается формированием процесса с наперед заданными требованиями,

позволяющим исключить возможность невыполнения требуемых функций и задач, а также обеспечить функциональную устойчивость системы.

Одной из фундаментальных идей, на которые опираются исследования по основаниям математики, является идея формализации теорий, т. е. последовательного проведения аксиоматического метода построения теорий. При этом не допускается пользоваться какими-либо предположениями об объектах теории, кроме тех, которые выражены явно в виде аксиом; аксиомы рассматриваются как формальные последовательности символов (выражения), а методы доказательств – как методы получения одних выражений из других с помощью операций над символами. Такой подход гарантирует четкость исходных утверждений и однозначность выводов, однако может создаться впечатление, что осмысленность и истинность в формализованной теории не играют никакой роли. Внешне это так; однако в действительности и аксиомы, и правила вывода стремятся выбирать таким образом, чтобы построенной с их помощью формальной теории было придать содержательный смысл [59].

Современное состояние общества, развития отраслей промышленности, жизнедеятельности, различных систем привело к тому, что большинство из них являются критически важными, риск нарушения функционирования, которых может привести к тяжелым последствиям. Каждый критический объект описывается множеством параметров, значения которых находятся в закритической области. Кроме этого, необходимо учитывать, что с течением времени может меняться количество и вид таких переменных.

Неопределенность нахождения и перехода системы из функционально устойчивое в критическое состояние определяет необходимость развития междисциплинарного подхода к управлению риском процесса функционирования сложных систем.

Понятие риск появилось давно. Значения слова «риск» имеет итальянские корни и в переводе «*risicare*» означает «отважиться». Изучением проблем риска стали заниматься с появлением теории вероятностей в эпоху Ренесанса, однако формирование науки о риске произошло только в 20 веке [285]. Развитие экономики, промышленности, появление опасных технологий, масштабы последствий нарушения устойчивого функционирования сложных систем способствовали развитию этой теории. Актуальность концепции развития в условиях риска обусловлена также повышением чувствительности населения, общества, его сфер жизни, отраслей промышленности к нарушениям функционирования различных систем. В настоящее время мы переживаем глубинные изменения в сознании общества, влиянии на его существование различных факторов, как напрямую, так и опосредованно. Последний век все больше развиваются отношения в обществе между человеком и человеком через техническую систему, как и между человеком и институтами общества.

Нестабильность, бифуркации в технических системах часто приводят к невозможности реализации такой коммуникации. Множество дестабилизирующих факторов увеличивает риски нарушения функционирования системы и отдельных ее элементов. Риски связаны с неоднозначностью наступления того или иного события, выполнения процесса. Чем выше неопределенность события, тем больше риск. Существует необходимость минимизации отрицательных последствий наступления событий, что возможно за счет управления риском. Это определяет необходимость исследования данного вопроса.

Риски в сложных технических системах значительно возрастают наравне с возрастанием возможностей и размеров таких систем. С увеличение уровня иерархии системы значение рисков для системы возрастает. Без знания о риске невозможно гарантированно обеспечить выполнение системой целевого предназначения. Влияние риска на жизнь общества велико, как показано в [285, 286], без знания и умения использовать теорию вероятностей и теорию риска не были бы построены многие огромные мосты; болезни беспрепятственно калечили бы людей; самолеты бы не летали. Без страхования жизни семьи шли бы по миру в случае утраты кормильца. Без страхования здоровья очень многие люди умирали бы слишком рано. Таким образом, без понимания последствий действий и наступления из-за них разных событий, а также практической реализации таких действий, т.е. оценки риска наступления различных событий современная цивилизация была бы невозможна.

Питер Л. Бернстайн писал «риск – это скорее выбор, а не жребий. Наличие у нас свободы выбора — вот что такое риск».

В работах Бурлова В.Г. [22, 59, 287] раскрывается проблема управления риском. Без учета влияние риска на процесс функционирования системы, несомненно, невозможно обеспечить ее устойчивое функционирование. При этом, риск возникает в конкретной ситуации, наступлении определенных событий, и если можно влиять на события в системе, на возможность перехода системы из одного состояния в другое, то можно влиять на риски в системе. Использование одних действий повысит риск, других – будет его снижать.

Основой для построения научных теорий является наличие объективных общих закономерностей. Есть ли такие закономерности в области, связанной с авариями, бедствиями, катаклизмами, катастрофами? [59].

Ортега-и-Гассет сформулировал следующую важную мысль: «Мир дает нам набор проблем. Нашим ответом на них является набор решений. Этот набор и называется культурой». Теория должна помочь создать культуру обеспечения функциональной устойчивости, набор правил поведения, способов, алгоритмов, методик, методов ее обеспечения.

Основой теории функциональной устойчивости является теория надежности, однако увеличение сложности систем, количества связей между ее элементами, а также необходимость обеспечения целевого предназначения независимо от состояния элементов системы определили необходимость рассмотрения нового подхода, учитывающего не техническую надежность, а функциональную устойчивость. Теория надежности основывается на статистике и с увеличением определенного порога сложности системы возникают трудности с ее количественной оценкой. В этом случае осуществляется вероятностная оценка надежности системы, снижение которой рассматривалось, как основное условие управления риском. При оценке рисков возникает проблема отсутствия статистики для уникальных систем, процессов, что создает еще большие риски. Традиционный подход оценки надежности связан с построением деревьев отказов. Взаимовлияние элементов системы друг на друга в этом случае не учитывается, а показываются только простейшие взаимосвязи между ними. Такой подход может быть применим, только для оценки простейших процессов системы, которые искусственно ограничиваются исследователем.

Подход вероятностного анализа критичных систем не совсем приемлем. Получение вероятности нарушения функционирования такого объекта с определенной долей вероятности не дает никакой информации и возможности наступления такого события в следующий момент времени, после оценки, или через день, месяц, год и т.д. Кроме этого, остается вопрос с наличие недостаточного материала статистики функционирования системы, если произошло событие нарушения функционирования системы, то может потребоваться пересчет вероятности, и система начнет функционировать с новой вероятностью. Такой подход для критических систем не подходит, и это обусловлено, в первую очередь необходимостью рассмотрения процесса функционирования системы в режиме реального времени, получении информации о нем, возможности на него воздействовать, что и будет определять процесс управления риском.

Другими словами, анализ риска неразрывно связан с теорией функциональной устойчивости системы, и является ее неотъемлемым элементом, характеризующим критичность системы и ее элементов, что определяет необходимость учитывать его при разработке методологии синтеза системы для обеспечения ее функциональной устойчивости.

Началом пути решения проблем управления состоянием системы, в которой существует потенциальная возможность нарушения ее функционирования является необходимость осознания риска в как меры опасности для нее.

Под термином «опасность» понимается любой фактор, воздействие которого может

привести к неблагоприятному отклонению здоровья человека, состояния окружающей среды, процесса функционирования технической системы, устройства от их среднестатистических значений (заданных требований) [285].

Критичность, как свойство процесса или объекта будет определяться потенциальной опасностью нарушения выполнения (не выполнение) его функций, задач, которые приведут к невыполнению целевого предназначения.

Мера опасности наступления неблагоприятного события, выступающая в качестве риска, отличается от классической вероятности - меры возможности появления какого-либо события. Вероятность наступления неблагоприятного события для системы, и оценка потенциального ущерба ее функционированию будут определять сущность риска для системы. [59]. Оценивая возможности наступления этих событий и результаты оценки вероятности и риска, а также потенциальные последствия ЛПР формирует модель действия и принимает решение на ее реализацию. Оценивая состояние риска субъект управления находится в одном из следующих состояний [59]:

вероятность наступления события большая, при этом ущерб субъекту, связанный с этим событием, равен нулю (или бесконечно мал). В этой ситуации субъект ясно понимает, что он не подвергается опасности (риск равен нулю);

ущерб от возможного события велик, но вероятность его появления бесконечно малая (равна нулю). Следовательно, опасности нет (риск равен нулю);

вероятность события и ущерб от него равны нулю. Ситуация характеризуется как достоверное отсутствие опасности.

Во всех остальных случаях соотношения вероятности наступления события и величины ущерба ЛПР рассматривает состояние системы высоко рискованным, а ситуацию опасной.

Понятие риска используется в различных отраслях научных знаний, каждая из которых имеет свой предмет, методический аппарат, которые используются для оценки риска. Кроме этого, существует множество понятий риска, что объясняется множеством реальных оснований, а также многоаспектностью данного явления, влиянием на него множества факторов.

Рассмотрим разные аспекты существования явления риска в системах. Объективно риск связан с вероятностью наступления того или иного события, перехода системы из одного состояния, в котором риска нет, в другое в котором он присутствует. Вероятностная природа многих явлений, процессов в природе, вариативность наступления различных событий определяют объективную сторону существования явления риска.

Стандартный подход теории вероятностей определяет, что на любой объект влияет

множество факторов, наступление которых принято считать случайными. Степень влияния каждого фактора может отличаться. Кроме этого, случайность наступления одного события может влиять на другие события и объекты, приводить к нестабильности множества элементов.

Нелинейная динамика показала, что случайность возникает зачастую не в результате действия большого количества разных причин или сложности системы. Она может быть результатом того, что система обладает чувствительностью к, начальным условиям [59]. Это показывает, что для большинства систем неустойчивость является их неотъемлемой характеристикой. Чувствительность системы к исходным данным показывает, что воздействие даже незначительных факторов может иметь большие последствия для системы. Требуется разработка подходов к прогнозированию изменения состояния объекта под действие таких факторов.

Наличие возможностей прогнозирования состояний системы, перехода из состояния в состояние, последствий наступления таких переходов принципиально меняет взгляд на мир. Возможность использования прогноза создает условия исследования вопросов контроля, мониторинга системы, определения возможностей выполнения задач, результатов деятельности систем.

Вероятностное описание процессов, состояний объектов, систем в ряде случаев является единственно возможным, однако такое описание не дает полной картины состояния системы и не позволяет говорить о наличии или отсутствии нахождения системы в функционально устойчивом состоянии в любой момент времени. Увеличение возможностей, сложности систем, изменение требований к системе, а также потребности ЛПР в знаниях о состоянии системы и воздействиях на нее в режиме реального времени определяет необходимость ухода от вероятностного описания процесса функционирования системы, или минимизации количества тех процессов, которые описываются с помощью вероятностей.

Рассматривая систему, как техническое образование, часто, исключают или выносят в ограничение действия и влияние человека на процесс ее функционирования, хотя много аварий происходит по вине человека. Учесть влияние человека тяжело, из-за необходимости учета дополнительно множества факторов, которые зависят от множества причин, влияние которых на действия человека может сильно отличаться. Понятие риска выступает в качестве синонима опасности, в свою очередь человек является потенциальным носителем опасности для устойчивого функционирования системы. В аспекте влияния человека на риск будет выступать субъективная сторона риска, в противовес объективной.

Субъективный аспект риска связан с процедурой принятия решения человеком и его состояния в этот момент, а также влияния этого состояния на принятие решения. Психологическое восприятие риска, осознание последствий, анализ ситуации человеком далеко не полностью исследованы. Внутренне психологическое состояние отражает культуру воспитания человека, готовность принимать решения и нести за них ответственность. Субъективная сторона риска также выражается в отношении общества и разных категорий граждан этого общества к тем или иным явлениям в нем.

Рассматривая риск нужно понимать, что его оценка носит двоякую сущность, заключающуюся с одной стороны в объективной характеристике риска события, а с другой субъективной оценке ЛПР, которая производится исходя из опыта человека.

Рассматривая существо любого риска, оценка его может проводиться с точки зрения двух подходов: от человека и от проблемы. В первом случае эксперты производят оценку риска. Задача экспертов сводится к тому, чтобы на основании использования методов, моделирования извлечь знания и с их использованием оценивать возможные варианты действия. Во втором случае оценка производится на основе общих принципов, применяемых к разным объектам и закрепленным в виде методик и законодательных норм. Выбор того или иного способа управления риском очевидно, должен проводиться исходя из условий и ситуации условиям [59].

Рассматривая проблему управления риском необходимо решать следующие задачи [285]:

анализ наличия рисков системе;

формирование и обоснование мер устранения или снижения рисков в системе;

реализация мер по снижению рисков;

коммуникации риска.

Риски в социально-технических, автоматизированных системах можно разделить на два больших класса: связанные с технической составляющей и связанные с человеком, его социальными, психологическими, эмоциональными и др. особенностями. Изучение вопросов риска в системах связано с наличием полной и достоверной информации о состоянии системы в любой момент времени.

Значение рисков возрастает с увеличением значимости системы, последствий нарушения ее устойчивого функционирования, невыполнением ее целевого предназначения, что определяет необходимость их изучения для объектов КИИ. Сложность систем, увеличение возможностей и функционала ее элементов порождает большее количество рисков.

На современном этапе развития общества все большее значение приобретают

проблемы управления, особенно вопросы научного обоснования планирования, проектирования, контроля систем, совершенствования механизмов управления ими и т.д.

Важным инструментом устранения опасности и снижения критичности элементов систем является управление риском и критичностью. Для иерархически устроенных систем требуется выявление рисков на каждом уровне для оценки влияния их на процесс функционирования системы.

Теория управления риском разрабатывает и изучает принципы, модели и методы исследования свойства процесса, характеризующего существование возможности возникновения неблагоприятных или нежелательных результатов деятельности объекта управления [285].

Практическая реализация теории управления риском в системе заключатся в формировании целенаправленной деятельности субъекта управления по исключению (снижению) степени влияния различных факторов на систему, существования возможности их влияния, результатом, которого может стать нарушение функционирования объекта управления, наступление нежелательных последствий.

Управление риском – целенаправленная деятельность субъектов управления системой по исключению (снижению) степени влияния различных факторов на систему, существования возможности их влияния, результатом, которого может стать нарушение функционирования объекта управления, наступление нежелательных последствий.

Рассматривая теорию управления рисками необходимо четко понимать, что управление рисками аварий, природных катастроф, бедствий и т.д. будет существенно отличаться от управления рисками в сложных технических системах, функционирующих в сфере высоких технологий, связи и управления. Важным и необходимым элементом управления риском становится контроль и мониторинг не только отдельных объектов, элементов, подсистем, а технологий, выполнения условий, норм, способности выполнять функции и задачи, независимо от состояния элементов.

Современные технические системы функционирую за счет определенного ресурса. Ресурс становится критичным для системы. При этом производные ресурсы технических систем и их элементов могут завесить от физических ресурсов, полезных ископаемых, электроэнергии и т.д. Многие технологии строятся на результатах переработки полезных ископаемых, скорость добычи и расходования которых с каждым годом увеличивается. В обозримом будущем такие ресурсы как уголь, нефть, газ могут закончиться, а для восстановления их запасов нужны определенные условия и миллионы лет. Существует потребность освоения новых технологий, использующих новые ресурсы, поиска возможности использования других ресурсов для выполнения существующих задач и

функций систем, количество и потребности в которых с каждым годом тоже растут.

Одним из фундаментальных достижений науки конца XX века стало установление принципиальной ограниченности возможностей прогнозировать [59], что определяет возможность наступления рисков в системах и отсутствия гарантированного прогноза на выполнение в них своего целевого предназначения. Реализация процесса управления рисками в современных условиях сводится в снижению вероятности наступления того или иного события, характеризующего риск.

Исследователи 21 века используют разные характеристики для описания современной цивилизации: информационное общество, постиндустриальный мир, технотронная цивилизация, цифровое общество, однако благодаря усилиям ряда западных социологов и философов при обсуждении глобальной динамики следующего столетия все чаще используется концепция «общества риска» [59]. Основными идеологами данного подхода были Н. Луман, У. Бек, создатель теории «нормальных аварий» Ч. Перроу.

В основе данной теории находятся техносферные риски, которые, в идеале, регламентированы нормативными документами. На практике полная регламентация практически невозможна. Ответственными за технологические и экономические риски являются государства, их учреждения, предприятия, политики, власти, крупный бизнес, для которых многие риски приемлемы, в отличии от общества. В силу массовости промышленности, предприятий, технических систем можно описать большинство рисков, оценить последствия и ущерб от их наступления, что способствует их классификации и структурирования, а также в какой-то степени определяет их предсказуемость и возможность управления ими.

Процесс исчисления рисков позволяет трактовать их как систематические события, наступающие с определенной периодичностью, которые нуждаются в регулировании. Требуется формирование действий направленных на предупреждение рисков.

В доиндустриальную эпоху можно было подготовиться к «наихудшему мыслимому бедствию». Во второй половине XX века такой возможности уже нет. Защищенность общества убывает по мере расширения спектра опасностей и их возможных масштабов [59]. Аналогичная ситуация складывается с рисками в сложны системах, рост количества и сложности которых порождает рост опасностей.

Наибольшей величиной риска можно считать критическое ее значение, характерное для объектов критической информационной инфраструктуры и критически важных объектов. Масштабы и последствия нарушения функционирования, которых могут не только быть не исчислимы, но и недопустимы. Мера функциональной устойчивости ставится в противопоставление функциональной неустойчивости, наихудшим вариантом

которой является разрушение системы, из-за невозможности выполнять целевое предназначение.

Таким образом задача обеспечения устойчивого функционирования системы в условиях рисков в ней состоит в том, чтобы минимизировать степень риска или исключить его.

Отечественный и зарубежный опыт в области управления рисками показывает, что этот процесс подобен движению по бифуркационной диаграмме, где в точках бифуркации должны приниматься соответствующие решения, направленные на уменьшение степени риска, или хотя-бы сохранения его на прежнем уровне в течении определённого времени.

Важным является принятие концепции обеспечения функциональной устойчивостью, управления рисками в ИУС, основой которой является возможность формирования сценариев действий в той или иной ситуации, отражения последствий рисков, а также последствий использования сценариев снижения степени риска. Важно, что такой подход не привязан в сложности, размерам системы, ее возможностям и т.д., а позволяет воздействовать на степень риска в любых условиях обстановки. Механизмы реализации такого подхода достаточно сложны и требуют значительных усилий, количество которых растет пропорционально сложности рассматриваемой системы. Кроме этого, в процессе выбора сценария действий существует необходимость решения задачи многокритериальной оптимизации. Прогнозирование возникновения рисков, показывает, что такой подход наиболее эффективен. Новые риски следует предвидеть и принимать меры до момента их наступления. Большие возможности по исследованию вопросов управления рисками и их выявлением дают нелинейная динамика и компьютерное моделирование.

Анализ проблемы обеспечения функциональной устойчивости ИУС, связанной с рисками в ней, можно разделить на следующие этапы: концепции-модели-принципы-решения.

В начале разрабатывается концепция (методология) решения проблемы, включающая основные этапы ее реализации по средствам выявления и управления рисками. В основе концепции должны лежать разработанные программы ее реализации, в частности связанные с компьютерным моделированием. Процесс моделирования позволяет выявлять возможности и закономерности функционирования системы и появления в ней рисков, построить целостную картину системы рисков, причинно-следственных связей их наступления. На основе результатов моделирования формируются сценарии устранения рисков, которые реализуются в виде конкретных действий, технических, управленческих и иных решений. Это изменяет условия функционирования системы, позволяет сформировать опытные данные и заставляет вернуться к исходной концепции для ее

уточнения, что определяет замыкание петли обратной связи.

Управление рисками влияет на эффективность функционирование системы, процессы и регламенты, выполняемые в ней, способность достижения целевого предназначения. Это позволяет рассматривать управление риском, как элемент общесистемного подхода в управлении. Системный подход в управлении рисками рассматривается во взаимовлиянии рисков, явлений и процессов на процесс функционирования системы и достижение ее целевого предназначения.

## 3.3. Концепция обеспечения функциональной устойчивости ИУС АН

Любая система, ее элементы осуществляют функционирование на основе существующих моделей, алгоритмов действий, выполнения операций, процессов. Насколько модель адекватна среде и условиям функционирования системы, настолько она эффективна будет в реальном мире. Для определения адекватности ее реальным условиям необходима оценка и учет основных закономерностей окружающей действительности, в которой функционирует система и которую можно описать с использованием Закона сохранения целостности [59, 287]. Данный закон является общим и позволяет описывать процесс функционирования большинства систем.

На основе иерархического подхода с одной стороны определяется объект как системы, а с другой осуществляется его формализация через целевое предназначение, что позволяет оценивать способность его выполнения.

Наличие элементов в системе, их возможности, квалификация и компетенции персонала позволяют эффективно выполнять требуемый перечень задач и функций системы. Если для выполнения простейших операций, действий, процессов человеку достаточно формировать умозрительную модель, то при рассмотрении критически значимых объектов, сложных технических системы, в которых для выполнения того или иного действа могут быть задействованы основной и вспомогательные элементы, требуется математическое машинное моделирование. Наличие компетенций персонала, позволяющих осуществлять начало решения любой задачи через синтез, как способ сборки, позволит представлять конечный результат выполнения задачи и обеспечить ее выполнение.

В зависимости от системы определяется ее целевое предназначение, заключающееся, как правило, в достижении главной цели. При реализации мероприятий достижения цели системы могут возникать, как на этапе проектирования, так и в процессе функционирования, под действие различных факторов, такие противоречия, которые обусловлены несоответствием возможностей системы её потребностям, потребностям

других систем, лиц, принимающих решение.

Наличие противоречия привело к необходимости разработки концептуальных математических основ синтеза системы (модели системы), методов, методик, способов и алгоритмов, позволяющих обеспечить требуемую функциональной устойчивости ИУС.

Рассматривая возможности использования достижений современной науки для подхода к оценке и обеспечению функциональной устойчивости ИУС на основе ее синтеза надо понимать, что дают три основных среза науки [23, 270, 288-290]:

Абстрактный (методология);

Абстрактно-конкретный (методы);

Конкретный (технологии (модели, методики, алгоритмы)).

Методология науки – учение о принципах построения, формах и способах научного познания.

Метод – способ достижения какой-либо цели, решения конкретной задачи; совокупность приёмов или операций практического или теоретического (познания) действительности.

Технология – наука о способах воздействия на сырьё, материалы или полуфабрикаты соответствующими орудиями производства.

На первом уровне в рамках допущений и предположений, направленных на достижение гарантированного результата, разрабатываются базовые понятия, базовые зависимости достижения результата и базовые логические правила развертывания содержания теории. (Определяются условия формирования множеств требуемых пространственно-временных состояний системы)

На втором уровне определяются условия перехода состояний системы и на основе предложенных методов обоснования характеристик системы разрабатываются методы управления системой и оценивания эффективности ее применения.

На третьем уровне разрабатывается алгоритм перехода системы из текущего состояния в требуемое, которое описывается пространственно-временными характеристиками.

Необходима разработка теории обеспечения функциональной устойчивости, основой которой будет закон сохранения целостности, процессный подход, основывающиеся на риске нарушения функциональной устойчивости ИУС.

Теория – система основных идей в той или иной отрасли знания; форма научного знания, дающая целостное представление о закономерностях и существенных связях действительности. Критерий истинности и основа развития теории – практика [59].

Критерием теории является наличие в ней: базовых понятий, ключевых слов,

развёртывания содержания этих понятий, и аксиом; правил вывода; теорем. Такое построение теории обеспечивает целостное представление закономерностей и связей предметной области.

Разработка концепции, направленной на решение проблемы, формирует теоритический базис обоснования действий ЛПР, позволяющих выработать комплекс мероприятий, позволяющих обеспечить выполнение требуемой функциональной устойчивости.

Существующее состояние дел обеспечения устойчивого функционирования ИУС показывает наличие подходов к проектированию систем при их построении, а также условий структурного или структурно-функционального синтеза, исходя из потребностей ЛПР, и отсутствие подходов к обоснованию условий их синтеза в процессе функционирования, которые позволили бы выполнить целевое предназначение. Это определяет необходимость поиска условий синтеза таких систем с наперед заданными свойствами.

Познание объектов окружающего мира осуществляется через моделирование, которое выступает в качестве основы технологии познания. Степень адекватности и полноты такого познания определяется полнотой учета закономерностей существования объекта моделирования. Реализация закона сохранения целостности объекта строится на условии замыкания (рис. 3.1).

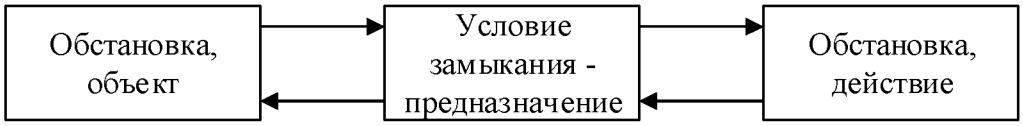



Рисунок 3.1 – Реализация условия замыкания закона сохранения целостности объекта

Синтез системы основывается на предназначении ИУС АН, выступающего в виде условия замыкания для объекта (модели объекта), в текущем состоянии, и действия (модели действия) для текущего состояния. Предназначение – это то что предопределено, что требуется. Действие определяет для конкретной ситуации что необходимо сделать над объектом, находящемся в текущем состоянии, для обеспечения выполнения требуемого предназначения. Мерой выполнения целевого предназначения может быть набор показателей и требований к ним, которые должны соответствовать заданным критериям.

Система – (от греч.systëma – целое, составленное из частей; соединение), целостное образование, состоящее из взаимосвязанных (взаимодействующих) компонент, (элементов, частей) и обладающее свойствами, не сводимыми к свойствам этих компонент и не выводимыми из них [59].

Сложная техническая система – целенаправленная целостная совокупность взаимосвязанных (взаимодействующих) сложных элементов, допускающая деление на подсистемы и элементы, которые в свою очередь обладают системными свойствами, совокупность которых не сводятся к свойствам всей системы [149].

Цель системы – желаемое ее состояние, которое может быть получено в результате ее построения, т.е. такого состояния, которое позволяет решать проблему при данных ресурсах. [149, 291].

Цель – то к чему стремятся, что нужно осуществить [151].

Требование – условие, положение, предписание, отражающее какое-либо соотношение характеристик свойств системы и их граничных значений, определяемых, как правило, суперсистемой (старшей системой) [292]. К требованиям к сложной системе могут относиться, например, устойчивость, надежность, безопасность и т.д.

Функция - устойчивая совокупность однородных специализированных работ (действий, операций). К функциям сложной технической системы могут, например, относится: сбор и обработка информации, оценка чего-либо, планирование, управление, контроль, учет и т.д. [292].

Задача – проблемная ситуация с явно заданной целью, которую необходимо достичь. [293].

Задача – некоторое множество исходных посылок, описание цели, определенной над множеством этих данных, и описание возможных стратегий достижения этой цели или возможных промежуточных состояний исследуемого объекта. [291]. К задачам системы, например, можно отнести тактические, стратегические, оперативные, обеспечение, маршрутизации, поиска и т.д., кроме этого замена оборудования, распределение ресурса, построения отдельных подсистем, расчета параметров и т.д. [292].

Под критерием понимается признак, на основании которого производится оценка, определение или классификация чего-либо, признак который при оценке функционирующих объектов рассматривается, как наиболее существенный [149].

Регламент (франц. свод правил) – совокупность правил, определяющих порядок работы государственных органов, учреждений, организаций. (Большая Советская энциклопедия)

Регламент – правила, устанавливающие, регулирующие порядок и время проведения мероприятий, осуществления деятельности, ограничивающие их определенными пределами [294].

Данное определение акцентирует внимание на обеспечении целостности ИУС, которое достигается посредство определённых взаимосвязей (взаимодействий) элементов

системы и проявляющееся в возникновении новых свойств, которыми элементы системы не обладают.

В процессе проектирования системы разработчик с помощью математических, графических средств моделирует объект исследования, процесс его функционирования для определения закономерностей, присущих реальному объекту. Проектирование и построение системы направлено на определение способности системы выполнить целевое предназначение.

В процессе проектирования решается две крупных задачи:

выбор структуры, функций и задач, которые решает систему;

выбор элементов, компонентов системы, позволяющих построить структур и выполнить функции и задачи.

Решением первой крупной задачи занимаются специалисты широкого, обладающие обширными системными знаниями и которые могут представить систему в целом, определить вектор ее целевого предназначения, функционал, количество элементов, а также подобрать специалистов узких профилей для их создания. Решение данной задачи напрямую связанно с построением структурно-функциональной схемы системы.

При решении второй задачи на основании общего целевого предназначения системы и ее элементов осуществляется построение этих элементов, их оптимизация. Это стадия проектирования компонентов системы.

В рамках естественных и технических наук все построения, рассуждения и выводы строятся на основе закона сохранения энергии, вещества и т.п. Тогда можно допустить, что и сама система, являющаяся «чем-то совсем иным, над ними и вне их (совокупность элементов системы)» должна иметь свою теорию, в которой все построения, рассуждения и выводы строятся на основе некоторой базовой закономерности (закона) сохранения единства строения, организации, эволюции (функционирования) и предназначения объекта мира (системы), более общей, чем закон сохранения энергии [59].

Развитие закона сохранения энергии и переход к закону сохранения целостности систем в своем ядре имеет общий подход – сохранение единства и целостности рассматриваемого объекта в процессе его жизнедеятельности, т.е. необходимость сохранения требуемого состояния объекта в условиях изменяющейся обстановки.

В [59] приведены ряд понятий, характеризующих проектирование и построение системы в рамках законов сохранения энергии и сохранения целостности.

Рассматривая систему, любой материальный объект необходимо учитывать единство связей в нем, между его элементами, что определяет его устойчивость. Сохранение целостности связей определяет состояние объекта и его возможность

существовать как единое целое (именно этот объект), что определяет его целостность. Изменение состояния объекта, его связей до определенной степени может приводить к саморазрушению такого объекта, как в структурном плане, так и функционально-целевом. Поддержание наличие и сохранения связей в системе будет характеризовать поддержание его целостности на основе применения закона сохранения целостности. Изменение энергетических затрат на поддержание устойчивого состояния системы не всегда позволяет сохранить его целостность, как объекта, определяемого его целевым предназначением.

Для конструктивной интерпретации объекта и соответствующего ему движения необходимо определение объективно существующих причин, являющих основание возникновения движения и причинно-следственных связей побуждающих объект к движению. Наличие такой связи позволяет говорить о предопределенном или формируемом предназначении объекта, а наличие связи между объектом и движением о формировании такого предназначения. Трансформация объекта и его свойств в предназначение позволило сформировать закон сохранения целостности объекта. При этом надо понимать, что изменение предназначения происходит в случае количественного изменения характеристик свойств объекта и его движения, приводящего к качественному изменению объекта и соответствующего ему движения [59].

При проектировании систем, как правило, используют один из общих подходов – синтез или анализ. Особенностью анализа является то, что система строится из определенного, имеющегося у проектировщика набора элементов. Проектировщик проектирует систему и предсказывает возможные выходные характеристики, которые будут получены этой системой. Таким образом, анализный подход направлен на перебор всех возможных вариантов построения системы и выбора того который наиболее удовлетворяет заданным требованиям. В свою очередь, при использовании синтеза проектировщик отталкивается от требуемых выходных характеристик системы и, исходя из них, определяет качественный и количественный состав системы. В этом случае решается задача от желаемой цели системы (от конца) и формируется система с требуемыми выходными характеристиками.

При проведении моделирования используются следующие этапы [59]:

декомпозиция – это такой научный метод, при котором исследование системы (модели) в целом заменяется исследованием отдельных её подсистем (подмоделей), проводимым с учётом их взаимного влияния друг на друга, и по возможности полным отражением при этом целостных свойств системы;

агрегирование - это такой научный метод, при котором множество элементов (подсистем) модели (системы) заменяются элементами, называемыми агрегатами, на

которых и строится агрегированная модель, имеющая существенно меньшую размерность, чем исходная, но достаточно хорошо отражающая свойства системы в главном.

Основой для построения системы является план, разрабатываемый ЛПР, котрый характеризует заданные для системы требования и используется как основание для проектирования, построения системы и описывает процесс ее функционирования по достижению ее целевого предназначения.

ЛПР в условиях ограниченного времени осуществляют действия по разработке плана построения и функционирования системы. Теоретическое обоснования процесса разработки плана представлено на схеме формирования плана функционирования системы [289] (рис. 3.2).

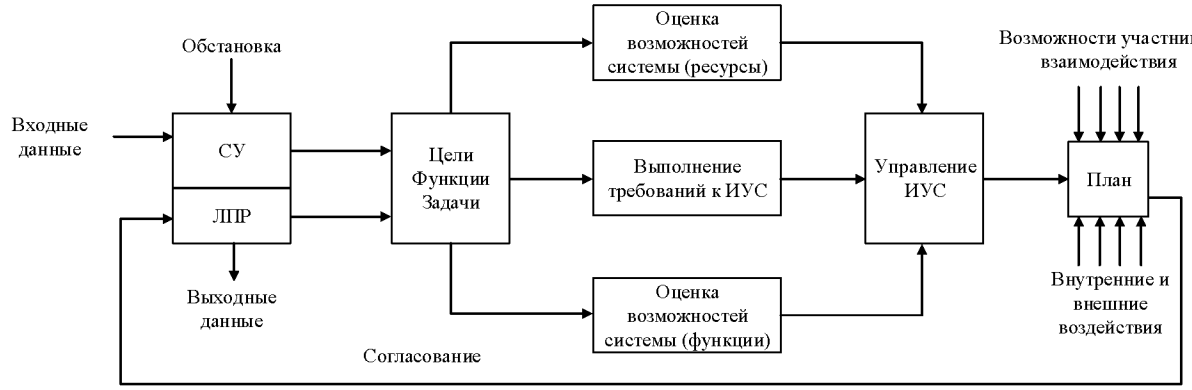



Рис. 3.2 Структурная схема формирования плана, характеризующего требования к системе

Схема иллюстрирует механизм разработки и согласования плана функционирования системы, а также реализацию обратной связи согласования возможности выполнения плана и целевого предназначения системы. Выполнение предназначения системы в условиях воздействия ДФ и изменяющейся обстановки, независимо от текущего и последующих состояний системы сводится к поддержанию состояния системы, которое соответствует выполнению плана.

Данную схему условно можно разделить на три этапа, показывающих процесс построения и обеспечения выполнения плана. В условиях изменяющейся обстановки и на основании имеющегося ресурса ЛПР формируют запрос на проектирование и построение системы, исходя из потребности, или создание нового плана (изменения старого), результаты которого представляют собой формализованный план функционирования системы согласование, которого проводится с учетом реализации обратной связи. На первом этапе осуществляется формализация потребностей СУ, ЛПР в виде совокупности задач, функций, целей системы, а также оценивается возможность ее реализации существующей ресурсной базой системы. Результатом работы первого уровня является потребная декомпозиция системы и целевого предназначения на элементарные элементы.

Выходные данные этого уровня выступают в качестве входных данных для СУ на проработку вопроса формированиям плана. На втором этапе осуществляется оценка выполнения заданных элементов, характеризующих целевое предназначение системы, а также проверка выполнения требований к системе и плану. Результатом работы схемы на вором этапе является представление плана в виде взаимосвязанных структурной и функциональной характеристик системы. Здесь, при необходимости, производится оценка плана и его характеристики заданным для системы требованиям. Результаты соответствия плана требованиям и оценки возможности его выполнения в условиях воздействия различных ДФ через обратную связь поступают в СУ, ЛПР, где в рамках третьего этапа производится реализация плана на системе или его преобразование и дальнейшая проработка нового плана с повторением процедуры. Процесс управления системой должен вестись с позиции единства методологии, методов и технологий.

Схема показывает:

1. Несоответствие между возможностями системы и ее потребностями (ЛПР) в условиях постоянно меняющейся обстановки.

2. Несоответствие между возможностями элементов системы и потребностями самой системы в их использовании для выполнения целевого предназначения.

3. Несоответствие между функциональной нагрузкой на систему, определяемой потребностями ЛПР и структурой системы, используемой для ее реализации. При этом, структура системы и функциональная потребность ЛПР могут изменяться под действием различных факторов.

В условиях изменяющейся остановки, нарушений функционирования системы этапы создания и функционирования системы представляют собой замкнутый цикл. Выбор облика системы осуществляется на основании исходных данных проектирования системы и оценки возможности реализации разработанного плана. Ошибки на этапе проектирования и оценки возможностей системы могут привести к созданию системы, заранее не способной выполнить требуемое целевое предназначение, либо будет выполнять его с низким качеством и эффективностью [295-297]. Поэтому данный вопрос является очень важным.

В основе концепции лежит два подхода (рис. 3.3). С одной стороны, закон сохранения целостности объекта с идеей синтеза системы, позволяющие выделять объект, действие, связанные через предназначение системы, а с другой стороны основа процессного подхода, определяющая связь между объектом, действием, контролем и исправлением, реализующим обратную связь в системе. Реализация связи через предназначение на основе результатов контроля и исправление системы, ее состояния, позволяет получать с одной стороны условия существования системы, процесса ее функционирования и процесса

изменения ее состояний, что дает новые возможности обеспечения устойчивого функционирования системы и организации управления ее через обратную связь, т.е. управление как функцию состояния системы.

Процесс функционирования системы предлагается рассматривать в трех уровнях: абстрактном (методология), абстрактно-конкретном (методы) и конкретном (технологии, методики, модели, алгоритмы, способы).

В общем случае методологический уровень включает разработку базовых понятий, теорем, определений, лемм, аксиом, определение условия формирования множества состояний системы.

Взаимосвязанные модели, методики и методы, направленных на обеспечение функциональной устойчивости и оценку критичности системы и ее элементов, контроль процесса функционирования системы, позволяющий обнаруживать нарушения функционирования системы являются основой второго уровеня.

На третьем уровне представлены технологии, способы и технические решения, позволяющие реализовать методы для обеспечения функциональной устойчивости системы и конкретизирующие сущность первых двух этапов, и направленные на выявление конфликтов в системе, реализацию мер их устранения, а также осуществлению синтеза системы через обратную связь в ней для гарантированного выполнения целевого предназначения.

Для формирования методологии воспользуемся рядом понятий [23, 59]:

**Определение 1** Система - это множество элементов, средств, приспособленных и технически пригодных для решения целевых задач, находящихся в отношениях и связях друг с другом и образующих определённые целостность, единство.

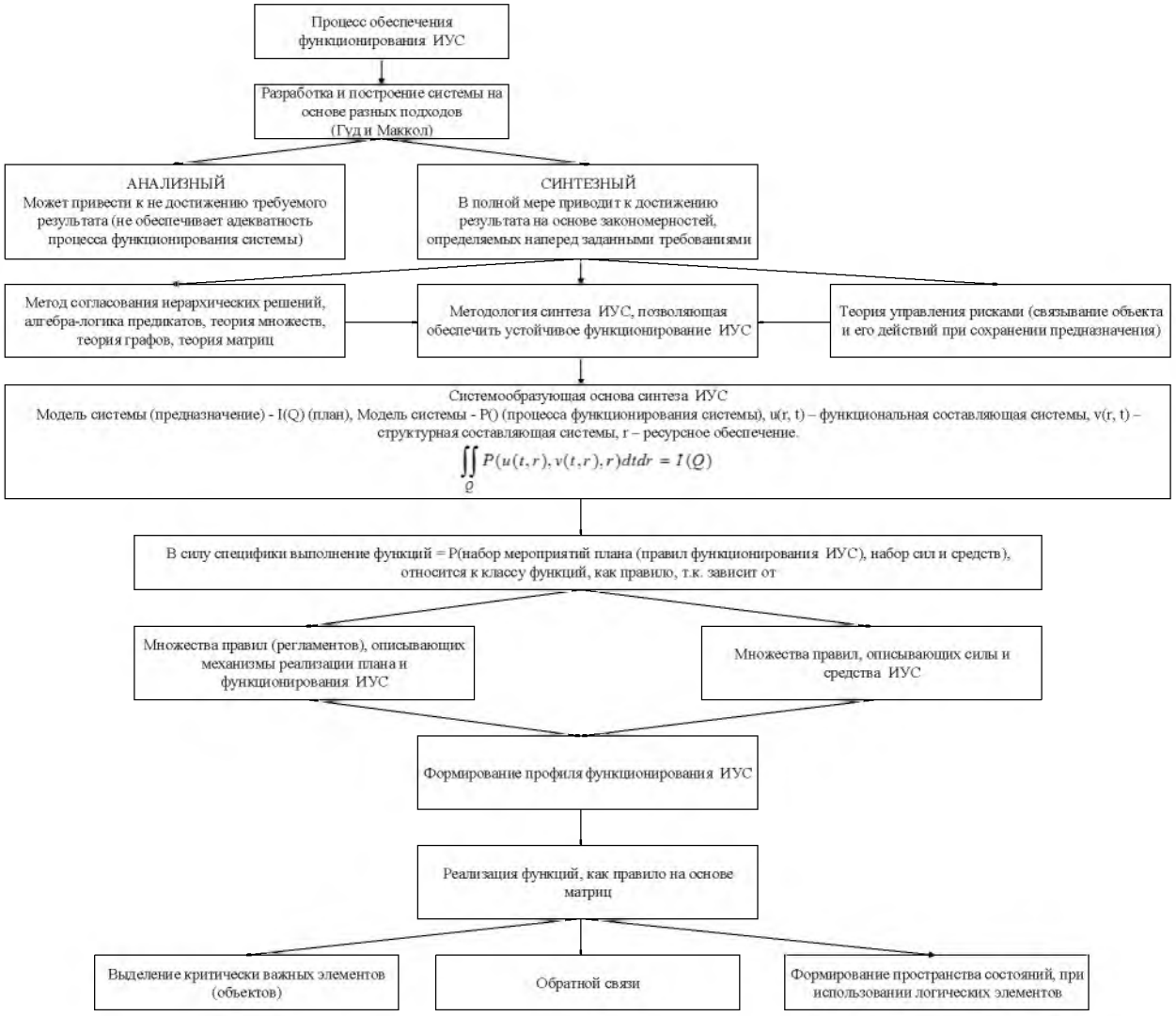



Рисунок 3.3 – Использование синтезного подхода для обеспечения функциональной устойчивости системы

Рассматривая систему, будем представлять ее виде множества состояний, каждое из которых в любой момент времени существования системы, описывает ее. Каждое состояние в любой момент времени характеризуется пространственными и функциональными характеристиками. Исходя из этого можно сделать предположение, что процесс функционирования системы и изменения его состояний будет характеризоваться, временен и соответствующим ему состоянием.

**Определение 2.** Множество возможных пространственно-временных состояний (ПВС) системы есть декартово произведение множества состояний системы на временную ось, которое определяется как множество $R=X \times T$.

Состояния, в которых системы способна выполнить целевое предназначение, и в которых оно не выполняется формируют множество ПВС.

**Определение 3.** Область выполнения целевого предназначения ИУС есть множество требуемых ПВС $Q$, для которого $Q \subset R$, при этом $Q = Xq \times Tq$, где $Xq$ – множество требуемых состояний, $Tq$ – требуемый момент времени.

Это множество может выступать в качестве модели действия ИУС, которую можно представить в плана действий направленного на обеспечение выполнения предназначения.

Любой объект, система существуют в пространстве и времени, при этом выполняют определенный функционал. Движение есть изменение состоянии системы, поэтому ПВС можно рассматривать, как характеристику, которая во времени определяет движение системы.

**Определение 4.** Способ функционирования ИУС – это множество действий, порядок их применения использования системы и ее элементов, определяемых ее ПВС, для решения задач системы.

Базовые элементы способа функционирования ИУС:

поиск регламентов выполнения задач;

оценка влияния использования входных ресурсов и получения выходных результатов выполнения регламента на другие задачи и целевое предназначение;

определение критически важных элементов в выполнении задачи, сосредоточение усилий на них;

отслеживание изменения ПВС в процессе функционирования ИУС.

На каждом элементе множества $Q$ система функционирует с определенной производительностью (эффективностью).

**Определение 5.** Характеристику ИУС, определяемую количеством выполненных (решенных) задач за единицу времени называют ее производительностью.

Концептуально производительность системы определяется ее возможностями и механизмами их использования.

**Определение 6.** Количественные и качественные показатели системы, характеризующие способность системы при определенном ПВС выполнить заданный, ограниченный набор задач называется возможностями системы (ВС).

Количественно оцениваются вектором структурной характеристики системы $v(r) \in V$ и вектором функциональной структуры $u(r) \in U$, где $V$- ограниченное, замкнутое множество возможностей ИУС, $r \in R$, а $U$ - замкнутое, ограниченное множество функциональных состояний системы.

**Определение 7.** Эффективность функционирования системы (ЭФС) есть степень реализации ВС в условиях воздействия ДФ на ИУС. Оценивается величиной (I - показатель ЭФС) устранения дестабилизирующих воздействий процесс функционирования ИУС,

выполнения задач с учетом понесенного ущерба системе и выполнению целевого предназначения от ДФ, затратами материальных средств, ресурсов и времени.

**Определение 8.** Управление ИУС - это процесс целенаправленного воздействие системы управления, органов управления, ЛПР на ИУС с целью обеспечения требуемой ЭФС в различных условиях обстановки.

**Определение 9.** Функцию $\varphi(r)=P(u(r, t), v(r, t), r)$, где функция $P(*, *, *)$ определяет реализацию управляющих воздействий на систему (обеспечения заданной структурой системы требуемой функциональной характеристики), $u(r, t)$, $v(r, t)$, соответственно, вектора функциональной и структурной характеристик системы, а $r \in Q$, будем называть выполнимостью целевого предназначения системы (ВЦП). Физический смысл данной функции заключается в возможности системы решать задач и выполнять функции, характеризующие целевое предназначение системы, распределённой в пространстве и времени. В целом и возможности, и механизмы формируют облик системы. Она обладает свойством [91, 270]

$$\int_{Q} \varphi(r)dr = \int_{Q} P(u(r), v(r), r)dr = I(Q)$$

**Определение 10.** Под ситуацией понимается состояние системы и ее элементов в данный момент времени. Ситуация есть элемент множества $Q \times F$, т.е. пара $(\varphi(r), r)$, $r \in Q$, $\varphi(r) \in F$, где $F$ – есть множество требуемых значений ВЦП. Элементами ситуации выступают ПВС системы и ее ВЦП.

Величина целевого предназначения системы будет определяться множеством задач через величину показателя потенциальной эффективности $I$ за определенный временной период, рассматриваемый как период функционирования системы. Система может находится в допустимом или недопустимом состоянии, переход из одного состояния системы в процессе ее функционирования может происходить под действием различных факторов. Множество допустимых состояний системы включает требуемые и переходные состояния. Рассматривая ИУС зададим текущее состояние на плоскости как точку $r$ из множества $R = X \times T$.

В любой момент времени описать состояние системы можно элементом множества допустимых состояний: $Zq = Xq \times Yq$, $Zq$ – множество допустимых состояний; $Xq$ – множество требуемых состояний ИУС, $Xq = [xq1, xq2, \ldots, xqn]$; $Yq$ – множество промежуточных состояний ИУС; $Tq$ – множество требуемых временных состояний ИУС; $Tq = [tq1, tq2, \ldots tqn]$, которые формируют множество требуемых ПВС ИУС (план) и определяется как декартово произведение $Q = Xq \times Tq$. Графически этот процесс показан на рисунке 3.4.

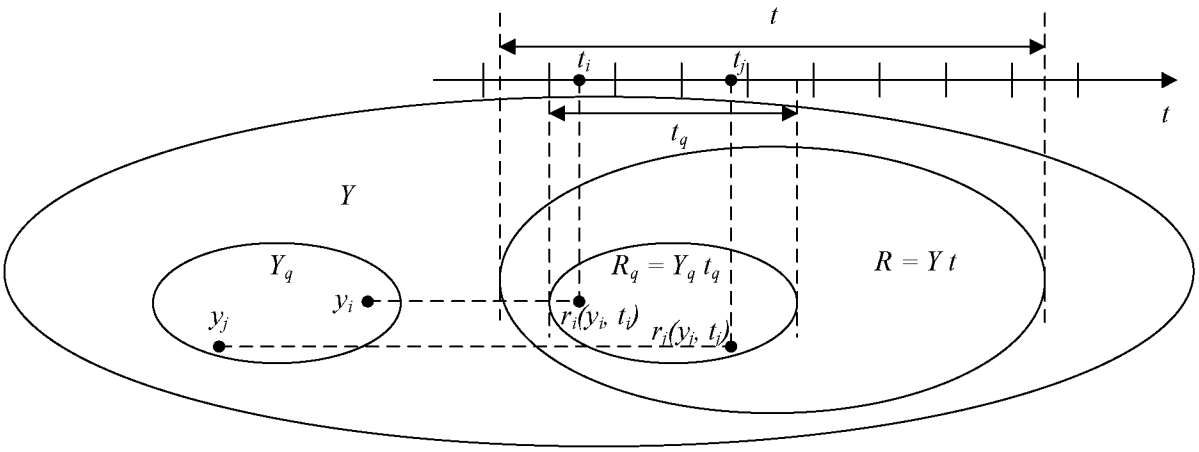



Рисунок 3.4 – Определение множества требуемых состояний системы

Основной задачей обеспечения функциональной устойчивости для ИУС будет определение перечня ПВС системы, выделение из него допустимых состояний системы и сосредоточение усилий на выполнении множества требуемых состояний системы. Перечень требуемых состояний формируется исходя из разработанного плана функционирования системы, что предполагает сосредоточение основных усилий системы на выполнении тех задач и функций ИУС, которые будут соответствовать множеству $Q$, при этом $Q \subset R$, $Xq \subset X$, $Tq \subset T$ (рис. 3.5).

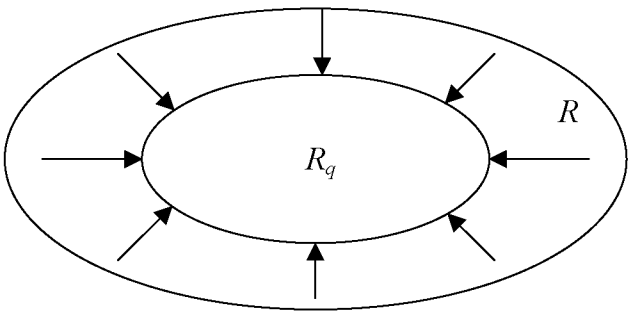



Рисунок 3.5 – Формирование области выполнения целевого предназначения

Каждый элемент плана осуществляется действиями системы, наличие которых позволяет его выполнять. Способность выполнить план определяется возможностями системы, обеспечиваемых ресурсами системы. Допустим, что элемент системы имеет следующие пространственные характеристики, определяемые его координатами $x = [x_1, x_2]$ на плоскости, а $t$ текущее время функционирования ИУС.

Точка $ri = (x_{1i}, x_{2i}, t_i)$ и ее окрестность радиусом $\Delta r_i$, определим, как область решения требуемых задач со средней производительностью (рис. 3.6).

Среднее количество целевых задач решаемых в этой окрестности $\Delta r_i$ можно определить, как $\Delta I \approx \overline{\varphi}(r_i)\Delta r_i$ . План же представляет собой объединение множества

окрестностей $\Delta r_i$.

$$Q = \bigcup_{i=1}^{n} \Delta r_i \quad .$$

Для определения эффективности функционирования системы, выраженное в количественном отношением выполненными задачами при выполнении плана воспользуемся выражением

$$I = \sum_{i=1}^{n} \Delta I_i = \sum_{i=1}^{n} \overline{\varphi}(x_{1i}, x_{2i}, t_i) \Delta r_i \quad .$$

При выполнении условия $\Delta r_i \rightarrow 0$, $n \rightarrow \infty$, то выражение для эффективности функционирования ИУС примет вид

$$I = \lim_{n \to \infty} \sum_{i=1}^{n} \overline{\varphi}(x_{1i}, x_{2i}, t_i) \Delta r_i = \lim_{n \to \infty} \sum_{i=1}^{n} \Delta I_i \quad .$$

Решение полученного выражения является интегралом по области пространственно-временных характеристик рассматриваемой точки.

$$I = \int_{x_1} \int_{x_2} \int_{t} \varphi(x_1, x_2, t) dr = \int_{x_1} \int_{x_2} \int_{t} \varphi(x_1, x_2, t) d x_1 dx_2 dt$$

тройной интеграл в области Q = X1× X2×T

$$I = \iiint_{Q} \varphi(x_1, x_2, t) dr = \iiint_{Q} \varphi(x_1, x_2, t) dx_1 dx_2 dt \quad .$$

Тогда при $n \rightarrow \infty$ $I = \int_{Q} \varphi(r) dr\, Q$

Показатель потенциальной эффективности функционирования системы, определяемой как степень достижения, заданного ЛПР плана, т.е. степени соответствия количества выполненных задач спланированным к выполнению, получим подставив вместо $\varphi(r)$ функцию $P(u(r), v(r), r)$, которая будет характеризовать функция множества $Q$ (функция плана).

Использование закона сохранения целостности объекта позволило связать три элемента процесса функционирования ИУС [23, 298]:

$$I(Q) = \int_{Q} P(u(r,t), v(r,t), r) dr \qquad (1)$$

Использование интеграл позволяет определить причинно-следственные связи между объектом и действиями для реализации выполнения плана.

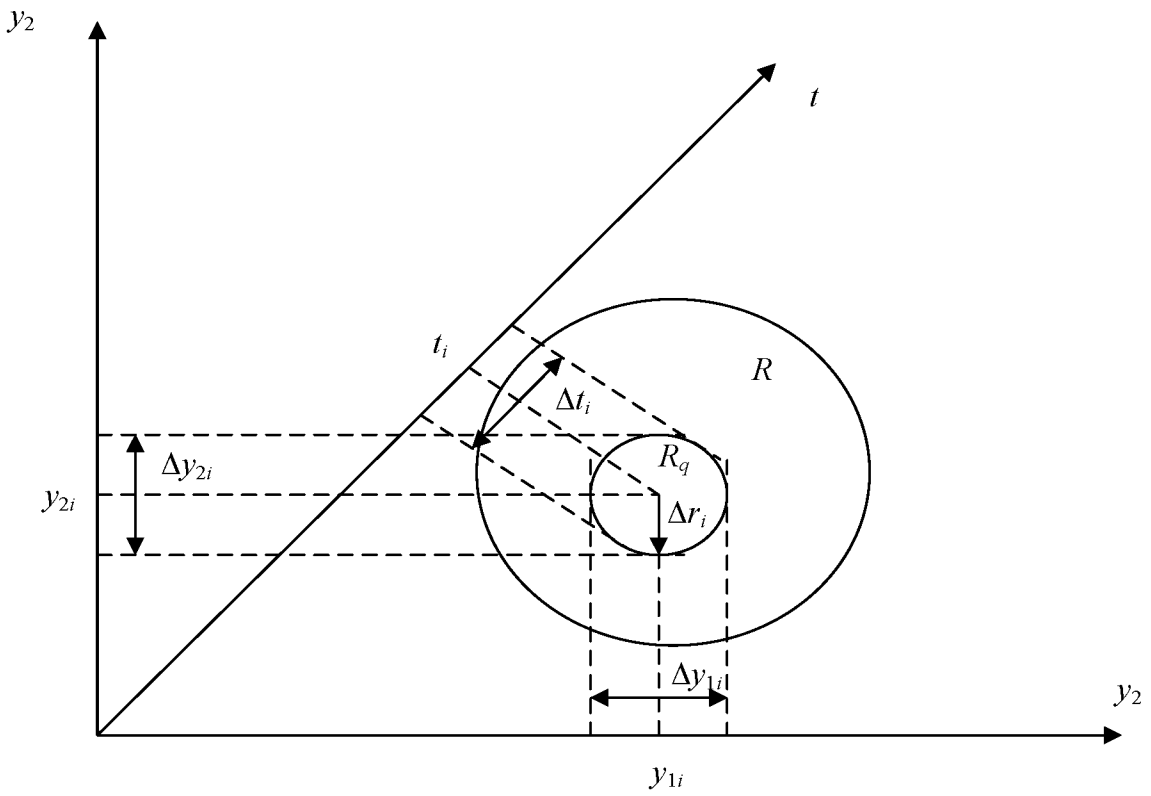



Рисунок 3.6 - Область решения задач ИУС

Выражение (1) описывает условие существования ИУС. Рассматривая любую систему на этапах ее жизненного цикла определяющих условием ее функционирования является ее целевое предназначение. Задачей системы управления и ИУС является обеспечение устойчивого выполнения управляемым объектом своего целевого предназначения, а в качестве целевого предназначения ИУС выступает обеспечение устойчивого процесса управления, т.е., в том числе, поддержание в функциональном устойчивом состоянии самой ИУС и ее элементов. Управление системой осуществляется в условиях воздействия различных факторов и изменяющейся обстановки, что определяет потребность рассмотрения процесса управления, как функции состояния и времени.

Изменение плана ведет к изменению показателя потенциальной эффективности использования системы и ее элементов для выполнения плана. Наличие причинно-следственных связей побуждает возникновение обратной связи между предназначением ИУС и моделями действия и моделью объекта. Основой возникновения обратной связи является наличие постоянных данных о состоянии системы и ее элементов, получаемых системой контроля. Закон сохранения целостности определяет только причинно-следственную связь между предназначением и моделями и позволяет в полной мере реализовать обратную связь между состоянием системы и планом, что требует

использования в рамках закона сохранения целостности основы процессного подхода, позволяющего на основе моделей, контроля и управления системой обеспечить ее ФУ.

Рассматривая процесс выполнения плана и его корректировки необходимо учитывать изменения условия применения управляющих воздействий на систему в условиях меняющейся обстановки. Корректировка управления в условиях изменения плана должна приводить к сохранению предназначения системы, что можно описать следующей формулой:

$$\int_{Q} \Delta P(u(r,t),v(r,t),r)dr = \int_{\Delta Q} P(u(r,t),v(r,t),r)dr,$$

где $\Delta P$ – мера изменения производительности (модели системы); $\Delta Q$ – мера изменения плана (модели действия).

На основе управления использованием ресурсов системы в условиях изменяющейся обстановки через поле эффективности осуществляется оценка, подбор необходимой производительности для системы.

Такой подход позволяет, на основе объединения в единое целое возможностей системы с пространственно-временным состоянием ее ресурсов (самой системы) через потенциальную эффективность функционирования ИУС, осуществлять синтез системы для обеспечения ее функциональной устойчивости, способности выполнить заданные к ней требования (рис. 3.7).

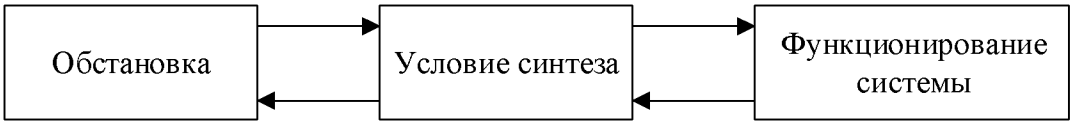



Рисунок 3.7 – Условия существования концепции синтеза ИУС в процессе ее функционирования

Синтез ИУС основан на установлении зависимости условий существующей обстановки и действий системы, направленных на обеспечение условия замыкания – выполнения предназначения системы.

Рассмотрим множество возможных ситуаций, характеризующих обстановку ($F \times R$) и множество действий, по выполнению синтеза системы ($R = X \times T$), обеспечивающих их реализацию, и определим для них условие замыкания.

ВЦП $\varphi(r)=P(u(r,\ t),v(r,\ t),\ r) \in F$ системы, где $F$ – есть множество требуемых (допустимых) значений ВЦП. $P$ характеризуется выполнением условия $U \times V \times R \rightarrow F$. Обстановка в которой функционирует системы определяется ее текущим состояние в любой момент времени ($P(u(r),\ v(r),\ r)\ x\Delta r$) на элементе поля требуемых состояний $\Delta r$

области $Q$.

Совокупность состояний элементов системы в любой момент времени будет определять степень выполнения целевого предназначения системы, обеспечения ее ФУ и определять условие синтеза системы во всей области $Q$:

Условие синтеза $\int_Q \Delta P(u(r,t),v(r,t),r)\,dr = I(Q)$

Модель действий — Модель обстановки — Результат синтеза

Множество состояний системы будет определять возможности системы по выработке и реализации механизмов функционирования системы, направленных на достижение ее целевого предназначения. Для любой СТС структура системы, совокупность взаимосвязанных ресурсов определяют возможности и способность системы по выполнению целевого предназначения. Распределение функций и задач между элементами можно описать:

1. $X_{qi} \subset X_q$, где $X_q$ – множество требуемых ПВС $i$-го элемента системы;

2. $X_{qi} \cap X_q = 0$, если $i \neq j$;

3. $\bigcup_{i \in J} X_{qJ} = X_q$, $J$ = [1, N×M×H], где N, M, H – определяют количественный состав формирований;

4. $\sum_{i \in J_T} \int \left( P(u(r,t),v(r,t),r) \times X_{qt} \right) dt = I$, где $I$ – показатель эффективности функционирования системы.

Для случая взаимодействия двух сторон «А» и «Б» вектор ПВС определяется следующим образом:

$$q_i^A = \left\langle x_{qi}^A, t_{qi}^A \right\rangle = \Theta_i^A((U^A,V^A,u^A(r,t),v^A(r,t)),(U^B,V^B,u^B(r,t),v^B(r,t));$$

$$q_j^B = \left\langle x_{qj}^B, t_{qj}^B \right\rangle = \Theta_j^B(U^B,V^B,u^B(r,t),v^B(r,t)),((U^A,V^A,u^A(r,t),v^A(r,t)).$$

На заданном множестве структурных характеристик системы задача синтеза ИУС сводится к поиску экстремумов

$$\text{extr} I^A((U^A,V^A,u^A(r,t),v^A(r,t)),(U^B,V^B,u^B(r,t),v^B(r,t));$$

$$\text{extr} I^B(U^B,V^B,u^B(r,t),v^B(r,t)),((U^A,V^A,u^A(r,t),v^A(r,t)).$$

Для выполнения задачи синтеза на заданном множестве структур системы и заданных U, V сторон необходим поиск экстремумов:

$$\text{extr} I^A(G^A,G^B) \text{ и } \text{extr} I^B(G^B,G^A).$$

В основе теории синтеза лежит логико-алгебраическая концепция математики,

которая позволила получить не противоречивые выводы. При таком подходе Ω - структуры обычно строятся на одном базисном множестве, что создаёт существенные трудности при решении задач моделирования с использованием этих структур. Ω - структурой называется такой объект $U_R$ = [R, Ω], который состоит из непустого множества R и множества $\Omega = \Omega_f \cup \Omega_p$, где $\Omega_f$ - множество алгебраических операций, а $\Omega_p$ - множество предикатов, определенных на множестве R – носителе Ω - структуры. Устранить их позволяет разработанная в работе математическая структура $\Omega_Q$, которая на основе введённой новой аксиоматики, включающей язык (базовые понятия, ключевые слова и отношения между ними), аксиомы (уравнение синтеза, взаимодействия, конфликта) и теоремы (базовые зависимости достижения результата, полноты структурно-функциональной модели системы), позволила строго математически определить систему и учитывать её конструкцию, применение и целевое предназначение (ЭФС). В центре внимания современной абстрактной алгебры находятся не только такие алгебраические структуры, как группы, полугруппы, кольца, модели и т.д., ставшие уже классическими, и их далеко идущие обобщения, но и объекты новой природы, в которых алгебраические операции определённым образом связаны со свойствами несущего множества. В работе вводится именно такая операция. Алгебраическая операция - это отображение, сопоставляющее всякому упорядоченному набору *n* элементов данного множества определённый элемент этого же множества. ($f$ ($r$): Q → R, функциональная зависимость $f$ обеспечивает формирование элементов r∈R, удовлетворяющих уравнению синтеза облика и способов применения системы, т.е. формированию множества требуемых ВЦП (ЭФС) Q ⊂ R). Физическая сущность данного явления заключается в выборе по определенному алгоритму элементов множества R, которые обладают свойства создаваемой целевой системы, использование которых позволить выполнить целевое предназначение, и тем самым формируют элементы множества Q ⊂ R. Что касается предикатов, то они являются функциями, отображающими значения трех аргументов (характеристики ПВС, ЭФС и ВЦП) в высказываниях об этих трех аргументах. Введены следующие предикаты: Z(Q) - система обладает требуемым ПВС Q; L(P) - система обладает требуемым ППЭ P; E(I) - система характеризуется требуемым показателем ЭФС I. A(Q, P, I) - три характеристики базовых понятий системы удовлетворяют условию синтеза (замыкания плана и процесса).

Сформулируем аксиомы.

1. Аксиома модели системы.

Аксиома 1.1. Аксиома модели системы.

$$\forall Q(Z(Q)) \& \forall P(L(P)) \& \forall I(E(I)) \supset \exists Q \exists P \exists I(A(A(P, I))$$

Если ИУС обладает множеством пространственно-временных состояний,

позволяющих выполнить ее целевое предназначение с требуемой функциональной устойчивостью, при этом эти характеристики связаны выражением $\int_{Q} P(u(r,t),v(r,t),r)dr = I(Q)$, которое задает целевое предназначение системы, то существует такая структура системы из этого множества, которая позволит выполнить требуемое ее целевое предназначение.

2. Аксиомы конфликта.

Аксиома 2.1. (Достижение заданного гарантированного результата)

$$\forall Q_{\otimes}^{\oplus} \forall \varphi_{\otimes}^{\oplus}(r,t) B(Q_{\otimes}^{\oplus}, \varphi_{\otimes}^{\oplus}(r,t)) \supset \exists Q_{\otimes}^{\oplus} \exists \varphi_{\otimes}^{\oplus}(r,t) \exists IA(Q_{\otimes}^{\oplus}, \varphi_{\otimes}^{\oplus}(r,t), I_{\otimes}^{\oplus}).$$

Эта аксиома утверждает, что если сторона «$\oplus$» в СТС развернула $\otimes$-тельную подсистему с ПВС $Q_{\otimes}^{\oplus}$ и множество функциональных возможностей больше предполагаемой потребности системы $\varphi_{\otimes}^{\oplus}(r,t)$ >0, характеризуемой целевым предназначением, то значение показателя функциональной устойчивости и ЭФС будет требуемым и равным $I_{\otimes}^{\oplus}$, которое определяется на основании аксиомы 1.1. Аксиома характеризует возможность возникновения конфликта, характеризующего способность гарантированного достижения целевого предназначения СТС.

Аксиома 2.2. (Действие порождает противодействие).

$$\exists Q_{\otimes}^{\oplus} \exists \varphi_{\otimes}^{\oplus}(r,t) \exists I_{\otimes}^{\oplus} \exists Q_{\Diamond}^{\nabla} \exists \varphi_{\Diamond}^{\nabla}(r,t) \exists I_{\Diamond}^{\nabla} B(Q_{\otimes}^{\oplus}, \varphi_{\otimes}^{\oplus}(r,t)) \supset$$

$$\supset A(Q_{\otimes}^{\oplus}, \varphi_{\otimes}^{\oplus}(r,t), I_{\otimes}^{\oplus}) \supset B(Q_{\Diamond}^{\nabla}, \varphi_{\Diamond}^{\nabla}(r,t)) \supset M\left(I_{\nabla/\Diamond}^{\oplus}\right)$$

Эта аксиома утверждает, что если одна из противостоящих сторон «$\oplus$» развернула $\otimes$-тельную подсистему с ПВС $Q_{\otimes}^{\oplus}$, с ППЭ $\varphi_{\otimes}^{\oplus}(r,t)$>0 и требуемым показателем ЭФС $I_{\otimes}^{\oplus}$ то для уменьшения показатель ЭФС $I_{\otimes}^{\oplus}$ до уровня $I_{\nabla/\Diamond}^{\oplus}$ сторона «$\nabla$» разворачивает «$\Diamond$» -тельную подсистему с ПВС $Q_{\Diamond}^{\nabla}$, ППЭ $\varphi_{\Diamond}^{\nabla}(r,t)$ и показателем ЭФС $I_{\Diamond}^{\nabla}$. Аксиома задаёт такой признак конфликта, как «действие одной стороны порождает противодействие другой с гарантированным снижением показателя ЭФС первой с целью достижения своим показателем ЭФС требуемого значения». Введён предикат $W\left(F_{iJ}^{\aleph}\right)$ - сторона «К» в условиях противодействия обладает обобщенным ППЭ $F_{iJ}^{\aleph}$ по соответствующей классификации противостоящих подсистем.

Аксиома 2.3. (Условие взаимного влияния)

$$\forall Q_{\Diamond}^{\nabla} \forall Q_{\Im}^{\aleph}\left(P\left(Q_{\Diamond}^{\nabla}, Q_{\Im}^{\aleph}\right)\right) \supset \exists F_{iJ}^{\aleph} W\left(F_{iJ}^{\aleph}\right)$$

Эта аксиома утверждает, что при взаимном поглощении множеств требуемых ПВС подсистем противостоящих сторон существует обобщенный ППЭ $F_{iJ}^{\aleph}$ для стороны «К».

Система аксиом непротиворечива, так как получая в процессе исследования логические следствия, не удалось вывести одновременно истинность и ложность одного и того же утверждения. Система аксиом зависима. В силу вложенности двух групп аксиом, аксиома модели системы внутренне независима. Аксиомы конфликта внутренне зависимы. Анализ системы аксиом показал, что все её интерпретации изоморфны, поэтому система аксиом полна. На основе сформулированных аксиом доказаны теоремы, определяющие зависимости исхода воздействия дестабилизирующих факторов (ДФ) от количественных характеристик сил и средств взаимодействующих сторон. Теоремы рассмотрены для случая оснащения каждой из двух взаимодействующих сторон. На основе аксиоматики поставлена задача синтеза, изложена концепция ее решения.

Синтез облика и способов применения ИУС.

Дано: Сторона «А» ИУС с ресурсами, сторона «Б» ИУС с ресурсами.

Требуется определить. Облик системы ИУС и способы взаимодействия, обеспечивающих требуемую эффективность.

Установлено. Для разработки облика ИУС и плана её использования необходимо и достаточно для взаимодействующих сторон (А, Б) задать свои множество $Q \subset R = X \times T$ (ПВС), функцию $P(...)$ (ППЭ) и число I (показатель ЭФС), удовлетворяющих условию замыкания.

Для каждой из сторон ИУС при непрерывном изменении времени условие замыкания задается соотношением $\int_T \sum_{i=1}^{N} \sum_{j=1}^{M} \sum_{f=1}^{H} P\left(u_{ijf}(r,t), v_{ijf}(r,t), r, t\right) \times \Delta X_{ijf}\, dt = I$, где N, M, H - определяют количественный состав формирования, $P(u(r,t),v(r,t),r)$ – производительность распределенной в пространстве и времени системы. Для осуществления синтеза процесса функционирования ИУС решены задачи:

1. Решить систему N×M×H интегральных уравнений (ИУ) Вольтерра 1-го рода для стороны «*» $\int_{t_0}^{t_k} K^*_{ijf}(t_k, t)\lambda^*_{ijf}(t)dt = \Delta I^*_{ijf}(t_k)$, (* = А, Б), с ограничениями $\sum_{i=1}^{N} \sum_{j=1}^{M} \sum_{f=1}^{H} \Delta I^*_{ijf}(t_k) = I^{\#}$ и операторной связью $\lambda^*_{ijf}(.) = c^*_{ijf}\left(p^A_{ijf}(\cdot), p^B_{ijf}(\cdot), \mu^A_{ijf}(\cdot), \mu^B_{ijf}(\cdot), v^A_{ijf}(\cdot), v^B_{ijf}(\cdot), \lambda^{+A}_{ijf}(\cdot), \lambda^{+B}_{ijf}(\cdot), W^A, W^B, Q^A, Q^B, Y^A, Y^B\right)$ где $\mu^*_{ijf}(\cdot), v^*_{ijf}(\cdot), \lambda^{+*}_{ijf}(\cdot)$ - интенсивности воздействия ДФ, соответственно подсистем в $\Delta X^*_{ijf}$ - области пространства X; W, Q, Y – ресурс сил и средств подсистем; $p^*_{ijf}(\cdot)$ - вектор-функция вероятностей состояний сил и средств. ППЭ на основе теории подобия представлен ядром ИУ, а ядро ($K^*_{ijf}$ - коэффициенты гомогенности (подобия)) уравнения

сформировано из операторов, отображающих множества ПВС и характеристики ИУС, ресурсов, количественного состава на числовое множество. При значении ядра равного «1» обеспечивается требуемое размещение элементов системы (производительности) в пространстве.

2. Решить систему N×M×H вариационных задач в форме Лагранжа для стороны «*» $\int_{t_0}^{t_k} K^*_{ijf}(t_k,t)\lambda^*_{ijf}(t)dt \to \sup_{u^A(\cdot)v^A(\cdot)} \inf_{u^B(\cdot)v^B(\cdot)}$, (* = А, Б) с ограничениями $\sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{M}\sum_{f=1}^{H}\Delta I^*_{ijf}(t_k) = I^{\#}$ и операторной связью. $K^*_{ijf}$ - коэффициенты гомогенности.

Определение 8. Устойчивость к воздействию ДФ – способность системы, процесса выполнения функций, задач в условиях ДФ достигать требуемого уровня ЭФС, т.е. выполнять заданную потребность в целевом предназначении ИУС.

Если состояние ИУС неустойчиво в условиях существующей обстановки и воздействия ДФ, то ЛПР, выбирают из сформированных вариантов, сценариев выполнения плана и его элементов, а при необходимости корректирует план действий в конкретном ПВС в интересах повышения показателя ЭФС и применяют его на ИУС.

Определение. 9. Если допустимые вариации производительности системы удовлетворяют условию $\int_{t_0}^{t_k} \left\| \delta\left|\lambda^*_{ijf}(t)\right| \right\| dt \le a^*_{ijf}$ то для того, чтобы ИУС была функционально устойчивой необходимо и достаточно, чтобы элементы множества векторов структурной u(t) и функциональных v(t) характеристик соответствовали условию

$$\int_{t_0}^{t_k} \left| \mathrm{grad} K^*_{ijf}(t_k,t)\delta u^*_{ijf}(t) + \mathrm{grad} K^*_{ijf}(t_k,t)\delta v^*_{ijf}(t) \right| dt \le a^*_{ijf}.$$

Учет факторов неопределенности. Задача решена в классе кусочно - программных управлений (КПУ). Суть КПУ для стороны «А»: Пара {s, a}, где s - разбиение множества $T = (t_0, t_1, \ldots \le t_e)$, а: $X^A_{i=t_k} \to U^A \subseteq L^2[t_k, t_{k+1}]$; суть КПУ для стороны «Б»: Пара {s, в}, где s – разбиение множества $T = (t_0, t_1, \ldots \le t_e)$, в: $X^B_{i=t_k} \to U^B \subseteq L^2[t_k, t_{k+1}]$.

Суть операторов «А» и «В»:

1. Решается задача программного управления с граничными условиями $X^*(t_k)$, $X^*(t_e)$ и формируются $u^*(t)$ при $t \in [t_k, t_{k+1}]$.

2. Выделяется $u^*(t) \in U^* \subseteq L^2[t_k, t_{k+1}]$.

3. Если $t_k < t_e$, то переход к п.1 , иначе задача решена.

Получены условия существования ситуации «ε» - равновесия (где ε есть мера неопределенности информации об участниках ДФ). $\varepsilon = \varepsilon_A + \varepsilon_B$; $\varepsilon_A$ и $\varepsilon_B$ - мера

неопределенности о сторонах А, Б.

В классе КПУ имеют место следующие соотношения:

1) $I\left(u^A(\cdot), u_\varepsilon^B(\cdot)\right) + \varepsilon \geq I\left(u_\varepsilon^A(\cdot), u_\varepsilon^B(\cdot)\right) \geq I\left(u_\varepsilon^A(\cdot), u^B(\cdot)\right) - \varepsilon;$

2) $\lim\limits_{\varepsilon \to 0}\left[I\left(u_\varepsilon^A(\cdot), u_\varepsilon^B(\cdot)\right)\right] = I\left(u_\#^A(\cdot), u_\#^B(\cdot)\right)$

Результат инвариантен к форме реализации меры неопределенности. Процесс управления по функциям необходимо представлять на множестве элементов, распределенных в пространстве и времени, которые имеют два типовых противоположных по смыслу состояния – элемент возможно использовать для выполнения целевого предназначения системы или нельзя его использовать.

Если обратиться к теоретическим разработкам, то можно обратить внимание на то, что вопросами описания системы с двумя противоположными состояниями, занимается математическая логика, однако она не использует понятие время, что приводит к невозможности использования ее для описания процесса функционирования системы, ее ПВС из-за ее концептуальной неполноты (описывает состояние системы без динамики) и не удовлетворяет предложенной аксиоме, которая определяет, что необходимо обеспечивать процесс функционирования системы на множестве распределенных элементов в пространстве и времени, которые имеют два противоположных состояния.

Анализ теории конечных автоматов показал, что он позволяет описывать два состояния и их изменения во времени, но не содержит формализованного аппарата, который связывает конечные автоматы в пространстве и времени, то есть отсутствует механизм формирования поля, связки между этими элементами.

Анализ основных положений классической пространственно-временной логики (ПВЛ), предложенной в ситуационном управлении, показал ряд недостатков [23]:

1) ПВЛ строятся экспертным путем, с большой долей субъективизма, причина которой состоит в отсутствии формальной модели мира, отражающей физические законы (Поспелов Д.А.);

2) Семиотическая модель (СМ) предметной области не имеет полноценного применения в ПВЛ;

3) Отсутствует возможность адекватного автоматического построения ПВЛ;

4) Типичная ПВЛ не позволяет отражать жизненный цикл в смысле управления (функционально-логический уровень и количественный уровень).

Анализ использования теории конечных автоматов и математической логики показал сложность автоматизации процесса контроля и управления системой. Для описания задач управления в динамической СТС, элементы которой распределены в пространстве,

используется вербальная связь между ними, что способствовало поиску новых подходов устранения таких связей для формирования условий автоматического управления системой.

Возникает проблема описания функции (производительности) на множестве логических переменных через функцию, как правило, для чего используются теоритические подходы Бурлова В.Г. [287], позволяют описать функцию целевого предназначения, определить взаимосвязь ее элементов и определить условие выполнения целевого предназначения системы через реализацию обратной связи в ИУС с заданным ПВС.

ИУС функционирует в штатном режиме и решает требуемое количество задач [278, 287]:

$$\int_{Q} P(u(r,t),v(r,t),r)dr = \int_{X_q \times T_q} P(u(r,t),v(r,t),r)dr = \int_{T_q} \sum_{i=1}^{N} P(u(r,t),v(r,t),r)X_{qi}dr = i(T_k).$$

Полученная функция определяет взаимосвязь между структурой системы и пространственно-временным процессом ее функционирования, что позволяет ее представить как функцию график или функцию как правило.

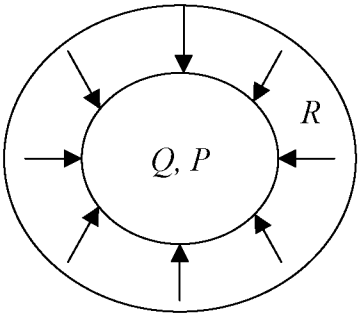



Рисунок 3.8 – Описание состояния системы с использованием закона сохранения целостности

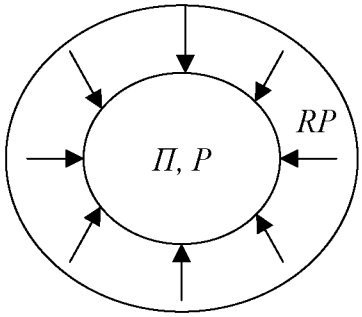



Рисунок 3.9 – Описание состояния системы с использованием предлагаемого подхода

Рассмотрим существующий подход описания состояния системы по Бурлову В.Г. [22, 23, 273] (рис. 3.8):

R=X×T- множество возможных ПВС ИУС;

Q=$X_q$×$T_q$- множество требуемых ПВС ИУС.

P- производительность системы.

X- множество возможных состояний ИУС;

$X_q$- множество требуемых состояний ИУС;

T- множество возможных временных состояний ИУС;

$T_q$- множество требуемых временных состояний ИУС;

Реализация теории на основе рассматриваемого подхода (рисунок 3.8) [299].

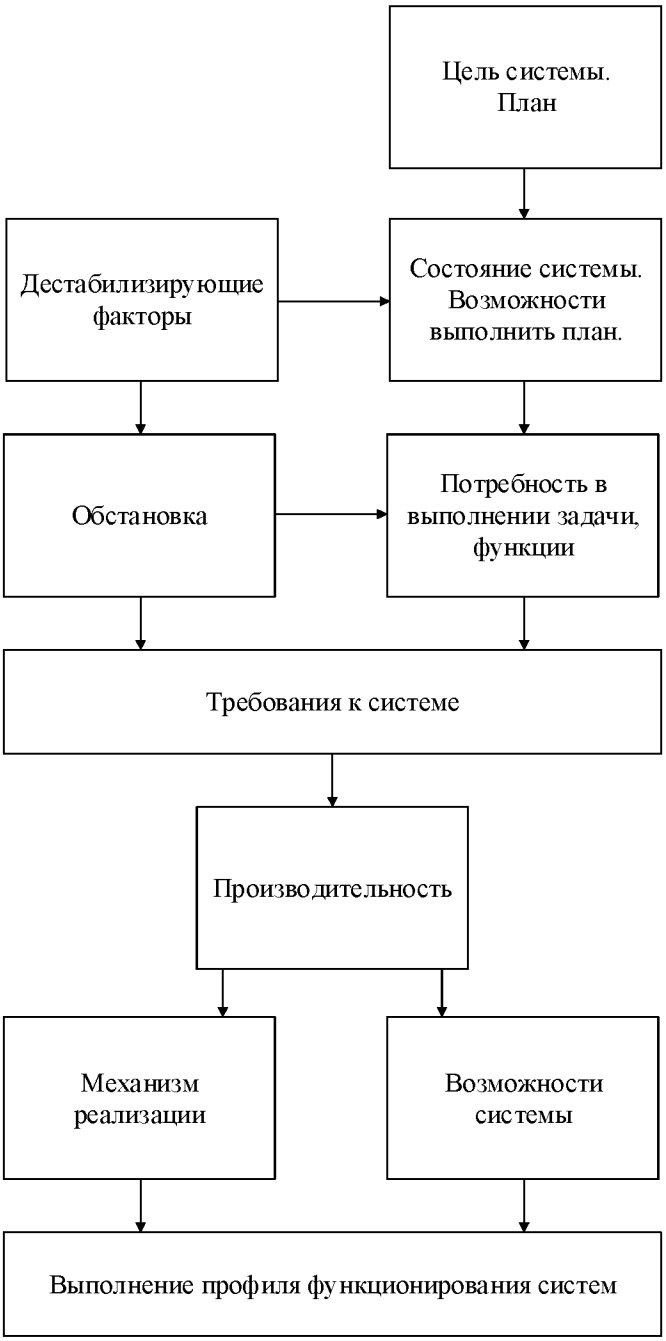



Рисунок 3.10 – Структурная схема механизма реализации требуемого плана (профиля) функционирования системы

**Предлагаемый подход (рис. 3.9):**

RP= ΔR – процессный подход для системы с сохранением ее целостности.

Δ- множество индикаторных функций.

П- профиль, П=Q*. Q - реализующийся план.

$Q^* = X_q^* \times T_q^*$ - множество реализуемых в ИУС ПВС в процессе выполнения плана.

$Q=X_q \times T_q$ - множество требуемых ПВС ИУС реализуемого плана.

P- производительность.

R*={ ΔR }, при δ(r)=1 - множество возможных ПВС ИУС процесса функционирования системы (выполнены или выполняются в соответствии с планом).

В соответствии с разрабатываемым теоретическим подходом процессный подход и закон сохранения целостности в рамках формально аксиоматического метода на основе алгебраической операции, связанной со свойствами несущих множеств и методов декомпозиции, абстрагирования и агрегирования позволили описать сложную динамическую пространственно-разнесенную ИУС в виде иерархической структуры, включающей взаимовложенные моделей структурных и функциональных элементов системы.

На каждом элементе множества система выполняет работу с определенной производительностью рисунок 3.10.

Развернутая схема моделирования выполнения целевого предназначения системы и обеспечения ее функциональной устойчивости с использованием предложенного подхода показана на рисунке 3.11.

Использование процессного подхода позволило формализовать систему в рамках достижения целевого предназначения, которое реализуется через закон сохранения целостности, позволивший определить взаимосвязь объекта, описываемого пространственно-временными состояниями его элементов и действиями по обеспечению его устойчивого функционирования.

Разрабатываемый подход основанный на применении алгебраической операции, связанной со свойствами несущих множеств, на поле элементов ИУС, за счет чего получаем условия существования процесса функционирования ИУС, состоящей из распределенного в пространстве и времени ресурса, а также реализации обратной связи и управления действиями и элементами ИУС, которые направлены на достижение целевого предназначения системы.

Существующие системы функционируют на основании заранее спроектированных планов, компонентов и регламентов по их реализации. В случае изменения ситуации часть ресурсов выводится из эксплуатации и для выполнения плана необходимо сформировать новый план, исключающий снижение ЭФС, функциональной устойчивости.

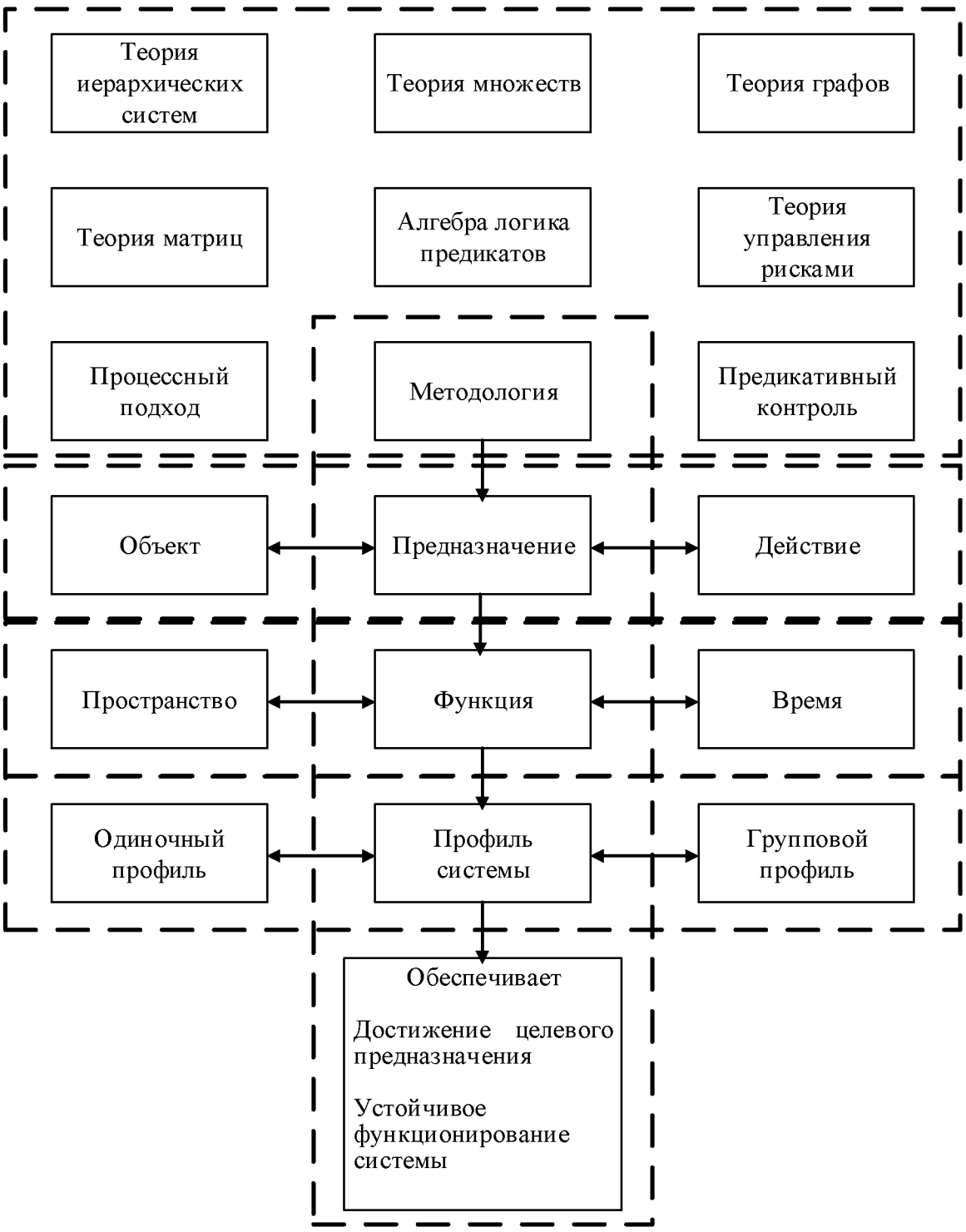



Рисунок 3.11 – Моделирование процесса выполнения целевого предназначения и обеспечения функциональной устойчивости ИУС АН

Новый план формируется на основе алгебраической операции, связанной со свойствами несущих множеств с требуемой производительностью и пространственно-временными характеристиками по выполнению поставленных задач и функций, направленных на достижение целевого предназначения [23, 66] (рисунок 3.12).

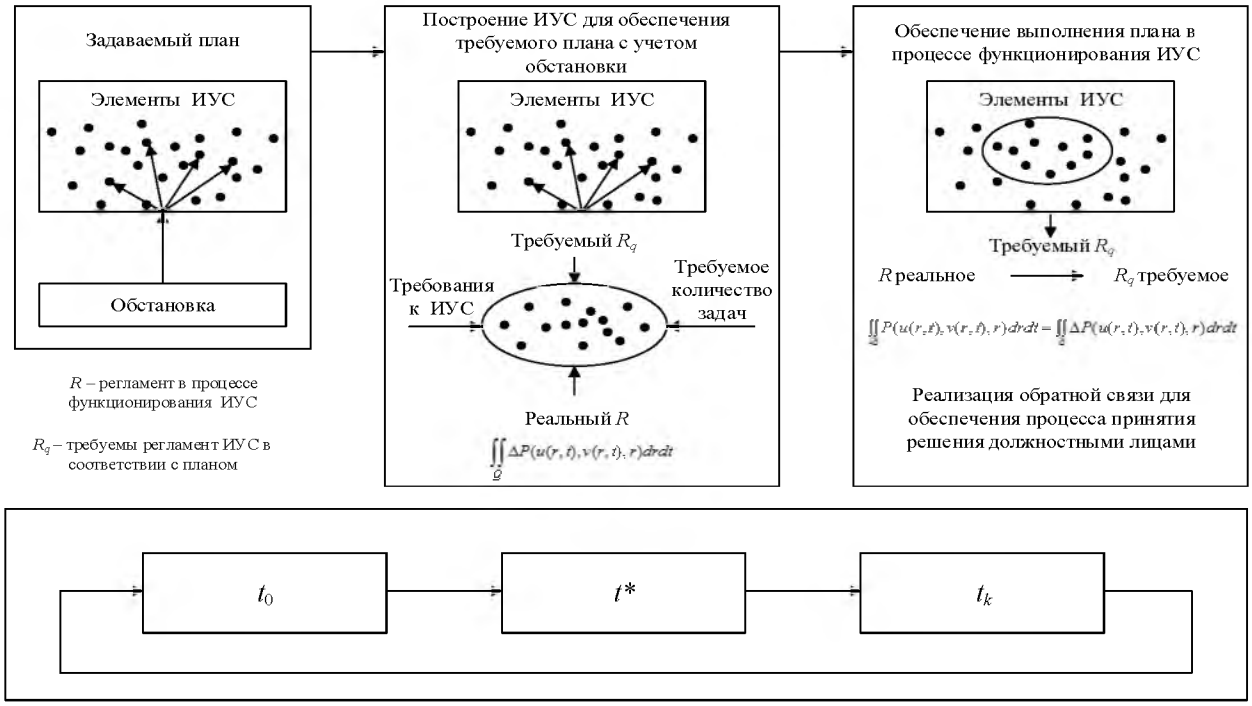



Рисунок 3.12 – Отображение перехода системы из текущего состояния в требуемое по результатам выполнения ее синтеза

Структурная схема базовых элементов концепции обеспечения функциональной устойчивости ИУС АН показана на рисунке 3.13.

Основой концепции является математический аппарат теории иерархических систем, теории графов, теории множеств и теории матриц, позволяющих формализовать функциональную составляющую системы, алгебры логики предикатов, позволяющей определить операции над элементами ИУС и теории управления рисками, позволяющей производить синтез ИУС на основе ее функционального предназначения для обеспечения функциональной устойчивости и гарантированного выполнения целевого предназначения.

Системообразующей основой методологии является интеграл функции от векторов структурной и функциональной составляющей ИУС, зависящие от множества задач, реализующих процесс функционирования системы, потенциала поля плана, через пространственно-разнесенные ресурсы и время.

Формализация проблемы представляет собой функцию зависимости совокупности модели объекта и модели действия, необходимых для реализации выполнения целевой функции системы, за счет ее ресурсов, которая представляет собой план функционирования системы.

Требуется формализация системы, объекта КИИ с точки зрения процессного подхода и рассмотрения каждого элемента методологии Деминга-Шухарта с точки зрения рассматриваемого объекта исследования. Наряду с этим, возникает потребность

определения связи между целевым предназначением системы, объекта КИИ с его структурой и процессом функционирования, для чего предлагается использовать закон сохранения целостности, предложенный Бурловым В.Г. [59, 91], и включающий три элемента: объект, действие и предназначение.

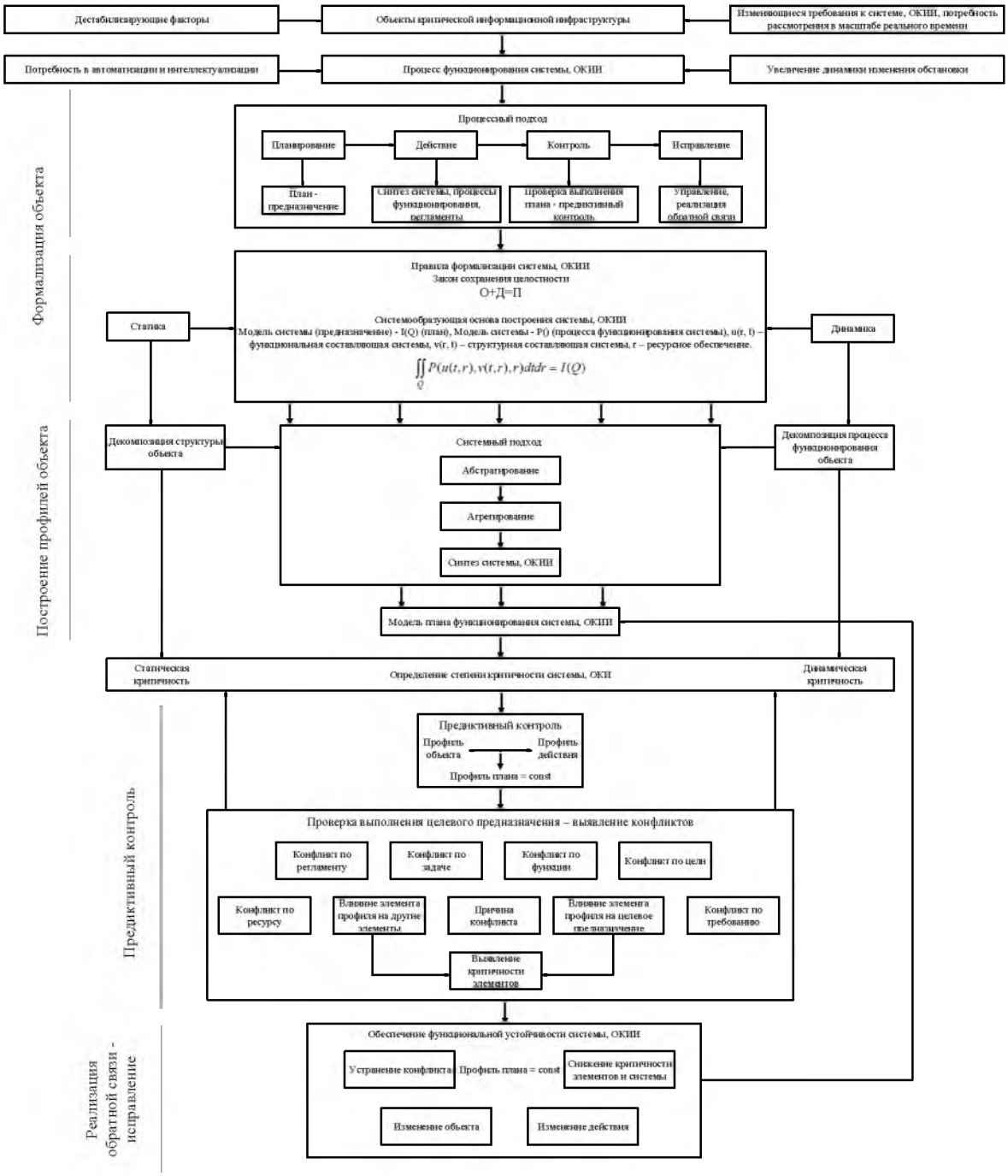



Рисунок 3.13 – Структура концепции обеспечения функциональной устойчивости ИУС

Для выполнения требуемого целевого предназначения объекта необходимо на основе системного подхода провести декомпозицию объекта, декомпозицию действия, абстрагирование и агрегирование, а также синтез объекта для выполнения целевого

предназначения за счет имеющего ресурса системы.

На основании моделей объекта формируется план процесса функционирования системы, представляющий собой совокупность регламентов, направленных на выполнение целевого предназначения системы. Сформированный план является основой для формирования профиля функционирования системы (ПФС), объекта КИИ [300, 301.].

ПФС совокупность взаимосвязанных характеристик системы, правил, описывающих процесс функционирования системы и характеризующих ее целевое предназначение на ограниченном отрезке времени [302].

Одним из элементов процесса управления системой является контроль ее функционирования. Для осуществления контроля формируется задание на него, при этом контроль осуществляется проверкой выполнения требований, параметров и других характеристик. В качестве задание на контроль предлагается использовать ПФС.

В процессе функционирования ИУС формируется профиль процесса функционирования системы (ППФС), который сравнивается с профилем функционирования ИУС. Отличие профилей определяет конфликт в системы. Проверка выполнения соответствия профилей осуществляется с использованием матриц согласования.

В процессе функционирования ИУС и объектов КИИ осуществляется контроль выполнения профиля функционирования - плана, путем формирования профиля процесса функционирования системы и сравнения его с профилем функционирования. С использованием сканера и запросов в БД, а также оценки выполнения плана системой через систему контроля реализуется обратная связь путем предоставления информации и состоянии системы и объектов КИИ, а также выполнении плана ЛПР.

Работа сканера представлена на рисунке 3.14. Процесс контроля функционирования ИУС осуществляется через последовательные проверки ресурсов, задач, функций, требований, целей ИУС, а также анализа критичности самой системы и ее элементов с помощью запросов в систему [300, 304].

Предикативность контроля обеспечивается проверкой сканером готовности ресурсов к выполнению задач, до момента начала их выполнения, а также оценкой влияния возникающих в системе конфликтов и появляющейся критичности на выполнение последующих задач и функций, а также достижение целевого предназначения объекта контроля. Оценкой возможностей системы и влияния возникающих конфликтов в системе на способность ее выполнить целевое предназначение занимается планировщик.

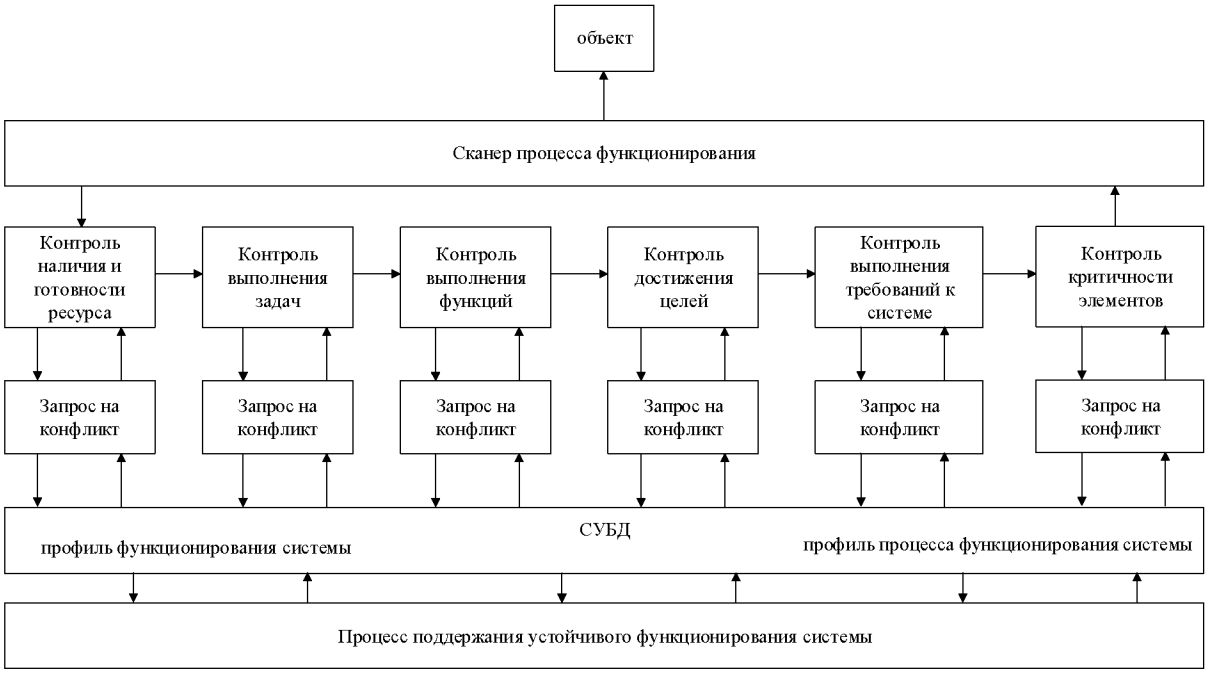



Рисунок 3.14 – Принцип работы сканера

Работа планировщика представлена на рисунке 3.15. Органы управления формируют команду на изменение плана. Планировщик проверяет необходимость изменения профиля плана и оценивает возможность его выполнения существующей системой.

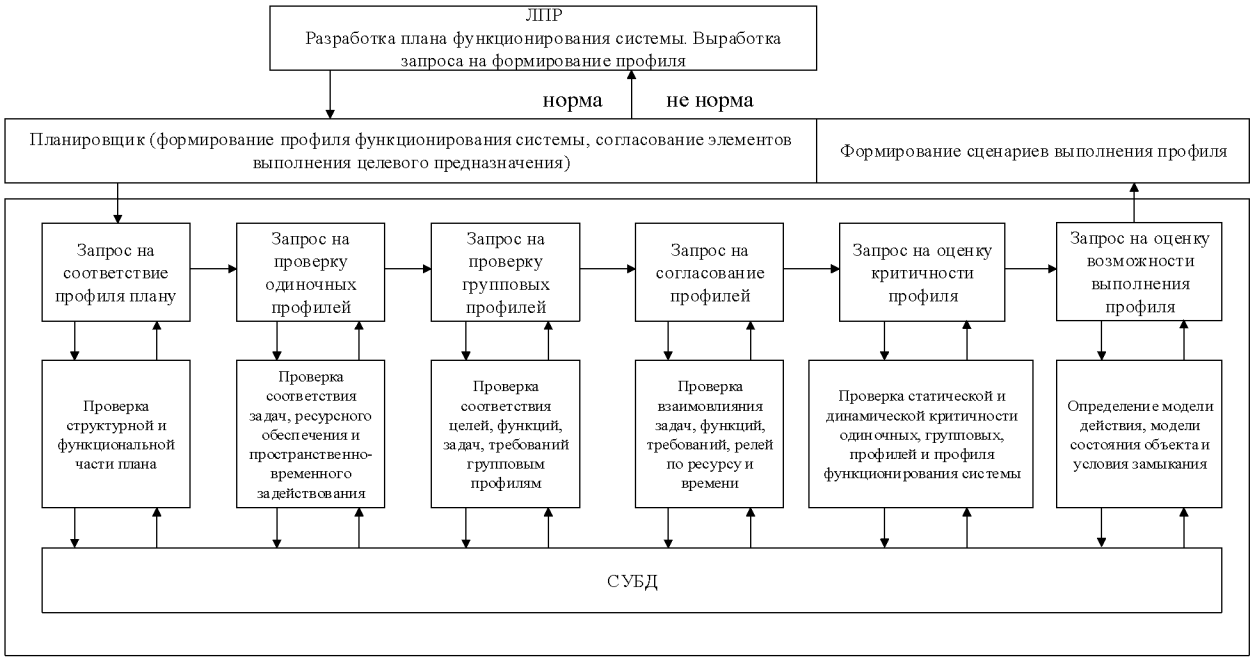



Рисунок 3.15 – Принцип работы планировщика

В процессе функционирования ИУС осуществляется проверка возможностей системы выполнить текущие задачи и функции системы, при невозможности выполнения,

т.е. несоответствия профилей процесса функционирования и функционирования системы возникает конфликт в системы, для устранения которого формируются предложения для ЛПР на резервирование ресурса, использования ресурсов других задач и функций и изменения сроков выполнения задач. Аналогичные действия осуществляются, если конфликт возникает в процессе выполнения задач, появлении новых задач.

Формализация ИУС в рамках процессного подхода, позволяющего описать обратную связь через управление (реагирование), контроль позволяет в любой момент времени иметь информацию о состоянии системы и происходящих в ней процессах. Формализация ИУС в рамках теории сохранения целостности позволяет определить взаимосвязь между действиями (управлением) системы и ее элементов над ресурсами, характеризуемых ПВЛ и позволяет определить возможность выполнения целевого предназначения, характеризуемого ЭФС. Инструментом реализации формализации процесса функционирования системы, позволяющей описать процесс контроля и реализации обратной связи является профиль функционирования системы, выступающий в качестве плана. Определение связей между элементами профиля позволяет выявлять критически значимые элементы системы, а также определять ее критическую значимость для системы управления, других систем. Наличие критических элементов определяет повышенный интерес к ним, а также необходимость обеспечения их устойчивого функционирования. Реализация обратной связи осуществляется через предиктивный контроль ИУС, позволяющий не только выявлять и обнаруживать уже наступившие события нарушения функционирования системы и ее элементов, но и прогнозировать изменения в системы в зависимости от меняющейся обстановки и наступления событий, которые могут привести к нарушению устойчивого функционирования системы и ее элементов и не достижению целевого предназначения, снижению ЭФС.

## 3.4. Концептуальная модель процесса функционирования ИУС АН на основе процессного подхода

Большинство крупных современных ИУС характеризуются территориальной разнесенностью структурной и функциональной характеристик системы, критичностью отдельных элементов, использованием информации ограниченного распространения, различных технологий обработки информации, временными ограничениями выполнения регламентов, задач, функций, жесткими требованиями, предъявляемыми к самой системе и ее элементам, а также другими свойствами, определяющими сложность процесса

функционирования системы, а также потенциальную опасность нарушения их функциональной устойчивости [23, 64, 305-307].

Обеспечение функциональной устойчивости ИУС является сложной проблемой, требующей системного решения комплекса взаимоувязанных задач по разработке теоритических положений, методов автоматизированного моделирования и анализа сложных систем [308-311].

Рассмотрение ИУС, как объекта КИИ, а также наличие критичности самой системы и ее элементов предъявляет повышенные требования к таким системам, в первую очередь, к обеспечению процесса их функционирования. Воздействие различных факторов может привести к нарушению процесса функционирования, что создает определенные риски для вышестоящей системы. Это требует развития СТС, автоматизации процесса управления такими системами, использования систем поддержки принятия решения, а также увеличения роли человека в принятии решения на те или иные действия в системе, что приводит к проблеме обеспечения устойчивого функционирования ИУС.

Проведенный анализ ИУС на основе системного подхода показал, что большинство таких систем имеют иерархическую структуру построения с функциональным набором целей, требований, функций, задач, регламентов их выполнения, выполнение которых осуществляется за счет существующего набора ресурса системы разнесенного в пространстве и времени.

Для создания эффективных механизмов обеспечения условий функционирования ИУС, направленных на выполнение целевого предназначения системы, недостаточно использовать методы, основанные на анализе, что может привести к не достижению требуемого результата функционирования системы, заключающегося в выполнении определенного набора функций и задач, требований к системе. Кроме этого, при воздействии на систему различных дестабилизирующих факторов или изменения обстановки она должна обладать способностью восстанавливать нормальное функционирование. В процессе функционирования системы это обеспечивается использованием ресурсов, при этом задействование ресурсов требует согласования ЛПР их использования на разных этапах выполнения регламента, что приводит к значительному увеличению времени выполнения цикла управления, принятия решения, появлению нарушений функционирования системы и может привести к саморазрушению системы (рис. 3.16).

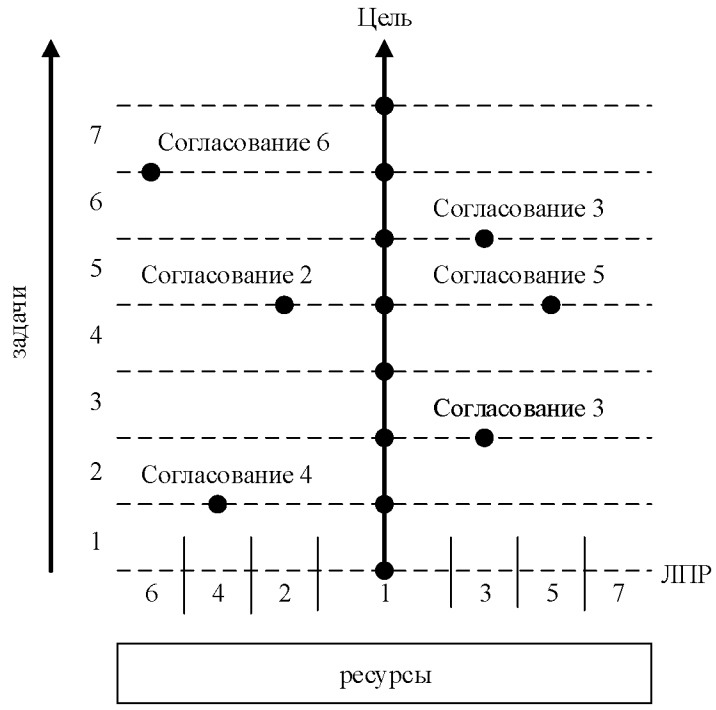



Рисунок 3.16 - Согласование ЛПР использования ресурсов при выполнении регламента

Рассматривая процесс функционирования любой ИУС на первый план выходит способность системы достигнуть свое целевое предназначения (ЦП), в рамках чего решается проблема поддержания и обеспечения требуемой функциональной устойчивости. Под ЦП понимается главная цель или множество целей, которые должны быть достигнуты в процессе функционирования системы и на достижение которых направлен процесс выполнения функций, задач и регламентов в системе, за определенный промежуток времени. Необходимость выполнения ЦП системы определяет потребность в минимизации времени согласования ЛПР на использование ресурсов системы (рис. 3.17).

Целевое предназначение системы можно определить ответив на вопросы «Для чего она функционирует, развивается?», «Кому она нужна?». В свою очередь цели системы формируются из целевого предназначения, достижение которого определяется достижением этих целей. В качестве целевого предназначения может выступать одна из целей системы – главная цель. Множественность целей, функций и задач системы, позволяющих их достигать определяют определенную иерархию функционирования системы, вершиной которой выступает целевое предназначение, а все остальные элементы используются для его достижения.

Цели могут быть противоречивыми и непротиворечивыми. Противоречия могут быть неантагонистическими или антагонистическими. В каждом из этих случаев могут быть свои возможности и подходы к достижению целей системы [214].

Целевым предназначением ИУС может быть предоставление услуг пользователям. Это обеспечивается множеством целей: минимальные ресурсные затраты, выполнение

требований к системе, выполнение требований к услугам, обеспечение связности системы и т.д. Первая, вторая и третья цели могут противоречить друг другу потому, что выполнение второй и третьей цели требует значительных затрат, но это противоречие неантагонистическое и для его разрешения возможны различные компромиссные решения.

При формировании и выявлении целей систем возникают определенные трудности их формализации. Размеры, масштабность, критичность системы и ее отдельных элементов напрямую влияет на количество и характеристики целей. Достижение цели характеризуется выполнением множества задач и функций, набор которых позволяет ответить на вопрос «Как достигать эту цель?». Хорошо формализованная или слабо структурированная проблема решения цели должна сводиться к задаче выбора подходящего сценария выполнения функций и задач системы, а также выбора ресурса для них [214].

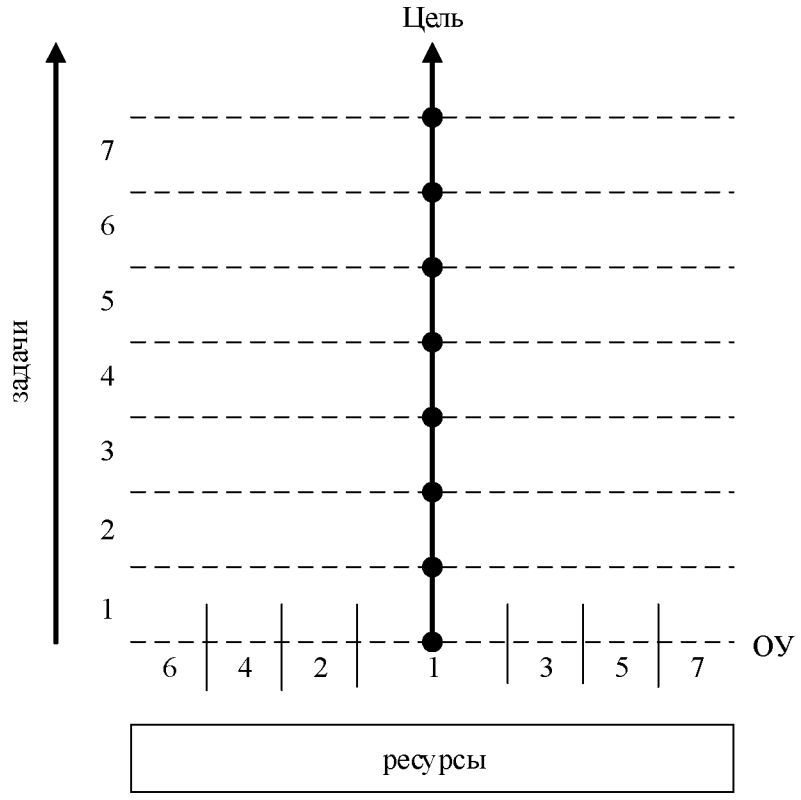



Рисунок 3.17 - Согласование ЛПР использования ресурсов при выполнении регламента

Трудность выявления целевого предназначения для ИУС связана с тем, что цель выступает в качестве антипода проблемы функционирования системы. Говоря о проблеме мы рассматривает те стороны исследуемого объекта, которые нарушают естественные процессы, происходящие в ней, а формируя цель определяется потребность, желание получения какого-то результата функционирования системы, направление движения системы к этой цели. Трудность достижения цели заключается в необходимости выбора

сценария ее достижения, который может характеризоваться различным набором функций и задач, а также задействованием разного количества элементов, ресурсов системы. Выбранный сценарий действительно должен приводить к достижению цели, а не предполагать наступления такого события.

На практике, как правило, используется анализ возможностей системы и проверка способности ее выполнить требования к ней. В этом случае в процессе функционирования системы и проведения процедуры анализа первоначально сформированные цели, часто, отменяются или изменяются. Это обусловлено сложностью формализации целей, их осознания системой, нечеткой формулировкой, обусловленных полным пониманием потребностей системы.

Особенностью целей системы является возможность их изменения во времени, причем не только по форме, в силу все лучшего понимания действительных целей, но и по содержанию - вследствие изменения объективных условий и/или субъективных установок, влияющих на выбор целей.

Таким образом четкое понимание целей и потребностей системы будет способствовать минимизации затрат на их достижение за счет формирования нужного сценария их выполнения. Кроме этого в процессе функционирования системы и изменяющейся обстановки должна существовать возможность их корректировки. Что определяет обязательное наличие обратной связи в системе.

Понятие цели неразрывно связано с понятием функции системы. Использование той или иной функции системы позволяет достигать цели за счет выполнения задач системы.

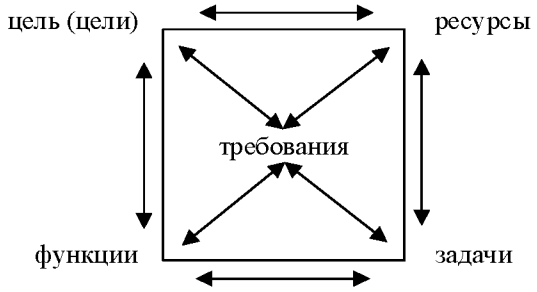



Рисунок 3.18 - Концептуальная модель процесса функционирования системы

Для описания процесса функционирования ИУС (рис. 3.18) взаимосвязь этих элементов можно представить в виде совокупности [91, 270, 301, 302, 313, 314]:

целевой функции (множества целей) $A = \{A_1, A_2, \ldots, A_a\}$;

множества требований к системе связи $T = \{T_1, T_2, \ldots, T_n\}$;

множества функций системы $F = \{F_1, F_2, \ldots, F_c\}$;

множества задач, реализующих функции системы связи $Z = \{Z_1, Z_2, \ldots, Z_q\}$;

$E = \{E_1, E_2, \ldots, E_m\}$ — множество ресурсов системы связи, обеспечивающих ее функционирование.

Отсутствие ресурса системы или неопределенность его использования, задействования для выполнения функций и задач влияет на возможность выполнения целевого предназначения (целей) системы, может привести к невыполнению требований, предъявляемых к ней и ее элементам и привести к ее саморазрушению.

Рассмотрим иерархическую схему выполнения целей системы с учетом требований, предъявляемых к процессу функционирования СТС, представленную на рисунке 3.19. В основе лежит иерархическая древовидная структура функционирования СТС, содержащая цели системы $A_1$ и требования $T_{1цi}$, предъявляемые к ним, функции системы $F_1$ и требования $T_{1фi}$, предъявляемые к ним, задачи системы $Z_1$ и требования $T_{1зi}$, предъявляемые к ним, а также ресурсы системы $E_1$, позволяющие обеспечить процесс функционирования ИУС и требования $T_{1рi}$, предъявляемые к ним.

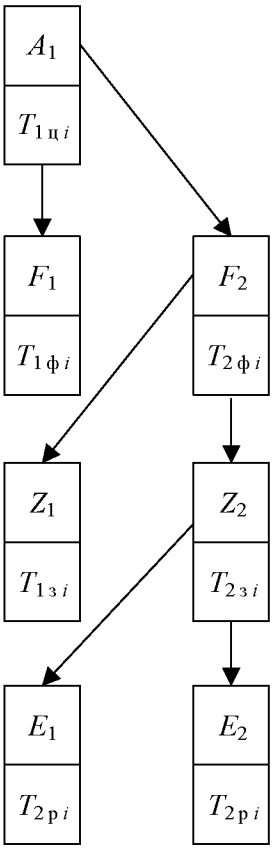



Рисунок 3.19 – Структурная схема выполнения цели системы

Тогда процесс функционирования системы можно представить в виде:

$$\Phi_{A\,\text{сист}} = \{A_1, A_2, \ldots, A_a\} \rightarrow \max,$$

$$\Phi_{E\,\text{сист}} = \{E_1, E_2, \ldots, E_m\} \rightarrow \min,$$

где $A_a = \{A_a, T_{a\,\text{ц}\,i}\}$, $A_a = \{F_1, F_2, \ldots, F_c\}$, $F_c = \{Z_1, Z_2, \ldots, Z_d\}$, $Z_d = \{E_1, E_2, \ldots, E_m\}$, $F_c = \{F_c, T_{c\,\text{ф}\,i}\}$, $Z_d = \{ Z_d, T_{d\,\text{з}\,i}\}$, $E_m = \{ E_m, T_{m\,\text{р}\,i}\}$.

В качестве нижнего звена схемы, описывающей выполнение целевого предназначения системы, является набор ее ресурсов, использование которых позволяет выполнить задачи, находящиеся на более высоком уровне иерархии.

Рассматривая процесс функционирования ИУС в соответствии со схемой, представленной на рисунке 3.19, нужно понимать, что для каждого уровня иерархии функционирования системы возможно деление на подфункции, подзадачи.

В процессе функционирования системы осуществляются управляющие воздействия на ее элементы, что определяет необходимость рассмотрения функции действия над ресурсами системы, осуществление которой над имеющимся ресурсом позволит выполнить задачи системы $\Phi_{\text{упр сист}} = \{\Phi_{\text{упр сист}}, \Phi_{\text{упр сист}}(R)\}$.

Для обеспечения устойчивого функционирования ИУС должны быть выполнены следующие условия:

1. $A_a \geq A_{a\,\text{треб}}$, $F_c \geq F_{c\,\text{треб}}$, $Z_d \geq Z_{d\,\text{треб}}$, $E_m \geq E_{m\,\text{треб}}$. Это определяет способность выполнения элементов уровня за счет элементов нижнего уровня.

2. Для управляющих действий $\Phi_{\text{упр сист}} \leq \Phi_{\text{упр сист}}(R)$.

Описание системы с использованием понятий цели, функции, задачи, ресурсы является необходимым, и с одной стороны позволяет описать процесс функционирования ИУС не проста так, а с ограниченно для достижения определенного требуемого результата, а с другой стороны позволяет оценивать возможности существующей системы. Определяя целевое предназначение, которое может быть выраженно в явном или неявном виде акцентируется внимание не на его формализации, а на формировании множества задач, функций, целей системы, для выполнения которых она предназначена. Определение зависимостей между целями, функциями, задачами, ресурсами позволяет оптимизировать функционирование ИУС с наибольшей эффективностью, за счет с одной стороны снижения времени реакции системы на возникновение отклонения устойчивого функционирования ИУС, с другой стороны формирования регламентов выполнения каждой задачи системы, характеристик, сроков, которые могут использоваться в системах контроля. Определение иерархичности важности выполнения элементов системы, позволяет формировать условия сосредоточения основных усилий СУ по обеспечению наиболее важных или критически значимых элементов процесса функционирования ИУС.

Такой подход к исследованию процесса функционирования ИУС позволяет учитывать и реагировать на изменение окружающей обстановки, внешней и внутренней

среды на процесс ее функционирования, параметры его описывающие, а также на качество выполнения регламентов в системе.

Обеспечение выполнения целевого предназначения системы неразрывно связано с с процессом управления ресурсом системы, что приводит к следующим принципам реагирования ИУС на изменение ее функциональной устойчивости [23]:

перераспределению ресурсов системы после отказа одного или нескольких элементов системы между остальными элементами системы, с учетом их критичности и эффективности функционирования (выполнения требований к системе и ее элементам);

перераспределение задач, функций, целей между элементами системы, при выходе из строя элементов, использующихся для выполнения этих задач, функций, целей;

сокращение множества решаемых задач, функций, целей, с учетом их критичности и влияния на выполнение целевого предназначения;

комбинирование использования выше предложенных действий, в зависимости от условий изменяющейся обстановки и времени функционирования системы.

Анализ работ в области управления техническими системами показал необходимость учета влияни степени воздействия различных ДФ внутреннего и внешнего характера на процесс функционирования ИУС, степени влияния нарушения процесса функционирования системы на ее элементы и устойчовость функционирования объекта управления, а также изменения показателей требований, предъявляемых к системе и процессу ее функционирования. Способность реализации управляющих действий над ресурсами системы, позволяющим ей оставаться в функционально устойчивом состоянии, обусловлена, в том числе, пространственно-временным их расположением, а также влиянием на систему ДФ, которые необходимо учитывать.

Такой подход не всегда позволяет оценивать способность и возможность выполнения системой требуемого перечня задач и функций, т.к. при изменении условий функционирования ИУС ее структура может не измениться, элементы останутся работоспособными, однако выполнить требуемый перечень функций и задач она не сможет. Кроме этого, нарушение структуры системы, функционирования отдельных ее элементов полностью или частично, не всегда приводит к нарушению процесса ее функционирования, а также снижению ее ФУ, что часто обусловлено избыточностью структуры системы по отношению к процессу ее функционирования, возможности перераспределения функциональных элементов системы.

ИУС взаимодействуют с информационными системами через различные сети и системы связи. Увеличение возможностей ИУС, интеграция других систем в нее, исходя из их предназначения и потребностей вышестоящей системы будет способствовать

увеличению ее эффективности функционирования. Работа ИУС строится на выполнении множества регламентов, определяющих ее целевое предназначение. Регламентом определяется какие действия нужно выполнять, их порядок, набор руководящих документов, определяющих и необходимых для его выполнения, необходимые ресурсы, результаты его выполнения, а также сроки начала и окончания его выполнения. Невыполнение задач системы может приводить к нарушению и невыполнению регламента, что характеризует неопределенность выполнения целевого предназначения, выполнения требований, предъявляемых к системе.

Большинство регламентов зависит от других регламентов, что, часто, определяет критическую зависимость их от результата выполнения других регламентов, которые могут выступать в качестве исходных данных нового регламента. Все это может привести к нарушению процесса функционирования системы и снижению ФУ.

Одной из основных задач обеспечения ФУ является поддержание своевременного выполнения регламентов в системе, что определяет необходимость в ней иметь информацию о состоянии ИУС и ее элементов в любой момент времени, что предполагает необходимость анализа, мониторинга и контроля выполнения регламентов.

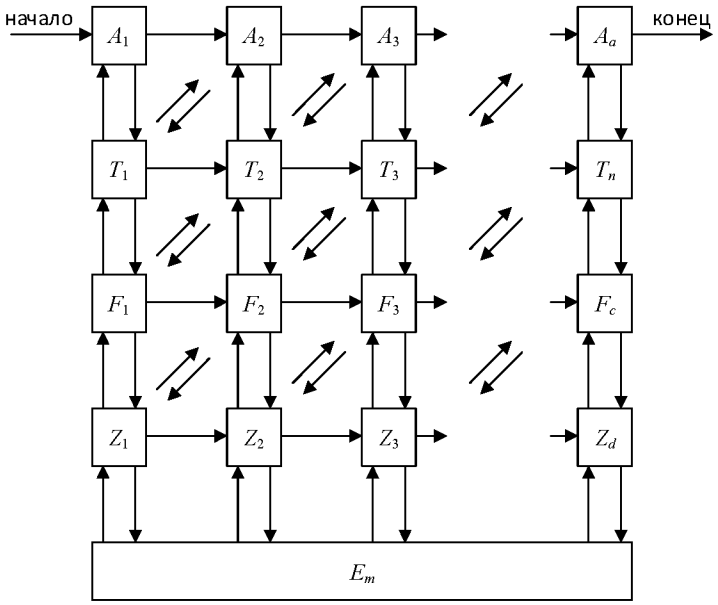



Рисунок 3.20 – Модель функционирования системы

Обеспечение ФУ предполагает реализацию всего набора функций, задач, целей, представленных в виде регламентов, которые определяются нормативными документами и потребностями ЛПР. Выполнение требуемого набора взаимодействующих регламентов в процессе функционирования ИУС, определенных в плане, будет характеризовать достижение ЦП [307, 315]:

цель = Σ регламентов.

Для решения задач обеспечения функциональной устойчивости ИУС рассмотрим модель выполнимости регламента в процессе функционирования системы. Модель представляет собой совокупность направленных графов (рис. 3.20), характеризующих выполнение целей, функций, задач с использованием ресурса системы.

Пространство элементов каждого уровня иерархически описанного процесса функционирования ИУС определяет выполнение элементов вышестоящего уровня, таким образом выполнение целевого предназначения системы определяется множеством целей. Среди прочих элементов каждого множества выделяется начальное и конечное состояние, характеризующие начало и окончание выполнения регламента – целевого предназначения системы. Функция выполнения регламента может быть представлена в следующем виде:

$$F_{\text{выпрег}}(A) = \sum_{i=1}^{a} F_{\text{выпрег}}(A_i),$$

где $F_{\text{выпрег}}(A_i) = f\left(\sum_{i=1}^{c} F_i, \sum_{i=1}^{d} Z_i, \sum_{i=1}^{m} E_i, \sum_{i=1}^{n} T_i\right)$.

Множество требований к регламентам описывает все уровни разработанной модели и представляется в виде множества целевых функций и соответствующих показателей качества или эффективности выполнения $W(A_a) = W(A_a)_{\text{треб}}$, при условии выполнения требований, предъявляемых к элементам системы $T_n(A_a)$, $T_n(F_c)$, $T_n(Z_d)$, $T_n(E_m)$.

При определении регламента функционирования системы необходимо выполнение следующих условий:

поставить в соответствие значению целевого предназначения ИУС целевую функцию выполнения регламента

$$W(A_a)_{\text{треб}} \rightarrow W(A_a) \rightarrow A_a;$$

определить процедуру перехода системы из первоначального состояния системы, характеризующего первую цель, при создании системы, или из текущего состояния, рассматриваемого как первоначальное, в конечное состояние, характеризуемое выполнением множества целей. Способность выполнения всех целей системы определяет ее целевое предназначение.

$$A_1 \rightarrow A_2 \rightarrow A_3 \rightarrow \ldots \rightarrow A_a;$$

определить или задать последовательность выполнения функций, позволяющую ИУС за счет перехода из первого целевого состояния в последнее выполнить целевое предназначение системы

$$F_1 \rightarrow F_2 \rightarrow F_3 \rightarrow \ldots \rightarrow F_c;$$

определить или задать последовательность выполнения задач, обеспечивающих выполнение функций

$$Z_1 \rightarrow Z_2 \rightarrow Z_3 \rightarrow \ldots \rightarrow Z_d;$$

определить или задать последовательность задействования разнесенных в пространстве и времени ресурсов системы, обеспечивающих выполнение задач

$$E_1 \rightarrow E_2 \rightarrow E_3 \rightarrow \ldots \rightarrow E_m.$$

Необходимо учитывать минимальное множество ресурсов системы, наличие которых позволит выполнить целевое предназначение с минимально допустимой эффективностью, выполнение требований, предъявляемых к процессу функционирования системы.

Воздействие на систему различных ДФ может привести к невыполнению регламента $W(A_a) = W(A_a)_{\text{треб}}$. Невозможность выполнения регламента текущей цели системы при невыполнении требований, предъявляемых к нему по качеству и времени, может привести к невыполнению целевого предназначения ИУС. Условие «может» полностью зависит от действий системы управления, ее информационного обеспечения о состоянии системы, возможностей по воздействию на нее и регламенты в ней, а также возможностей системы контроля по оценке состояния ИУС и системы поддержки принятия решения, позволяющей формировать варианты действия в той или иной ситуации. Невозможность выполнить процесс, невыполнение которого приведет к невыполнению целевого предназначения ИУС определяет критическое состояние системы, а процесс критическим. Определение результата такого воздействия в виде невыполнения элемента в установленные сроки способствует возникновению реакции системы на уже совершившийся факт и не позволяет обеспечить выполнение целевого предназначения. В процессе функционирования системы и выполнения регламентов необходимо в любой момент времени прогнозировать возможность наступления события выполнения текущих регламентов до момента окончания их выполнения, что определяет предиктивность обеспечения функциональной устойчивости системы.

Все это определяет необходимость с одной стороны разработки методологического аппарата обеспечения ФУ, включающего методы, модели, методики, способы и алгоритмы выполнение которых направлено на обеспечение ФУ, а с другой стороны появления новых, эволюционированию старых систем управления, контроля, поддержки принятия решения, информационных системы, позволяющие обеспечить предоставление полной и своевременной информации о состоянии системы органам управления, возможность реализации воздействий направленных на обеспечение ФУ, а также прогнозировать

выполнение регламента, условий влияния нарушения его выполнения на другие элементы системы и целевое предназначение системы.

Проведенный анализ показал, что современные ИУС полностью смыкаются через электронные регламенты и их описание. Система рассматривается в относительно статическом виде без учета динамики ее изменния и изменения характера и количества воздействующих ДФ, что противоречит эволюции системам и процессному подходу. Наличие динамики изменения состояния системы в масштабе реального времени требует разработки новой теории на основе процессного подхода и теории управления рисками. Такой подход позволит в любой момент времени определять состояние системы и ее элементов, выявлять критические элементы и процессы в регламенте функционирования системы, прогнозировать степень достижения целевого предназначения ИУС имеющимся в системе ресурсом, а также способность его выполнить в установленные для системы сроки.

Для выполнения регламента, функций и задач системы, а также обеспечения эффективного функционирования ИУС необходимо проводить оптимизацию использования ресурсов системы, а также оптимизацию ее структуры и функциональной характеристик [107, 315].

Каждая ИУС имеет свои особенности, факторы, перед которым они наиболее уязвимы, условия функционирования и т. д., которые могут привести к нарушению их функционирования, отсутствию или невозможности использования ресурсов системы. Таким фактором, например, для СТС можнет выступать низкоквалифицированный сотрудник [316].

Процесс функционирования системы определяется исходя из заданного ее целевого предназначения и характеризуется структурной и функциональной характеристикой. Рассматривая целевое предназначение системы и определяя ее способность его выполнить, необходимо подобрать такую структуру системы, которая позволила бы его реализовать, при этом должны выполняться условия достаточности для данного целевого предназначения. Рассмотрим теорему

**Теорема о полноте структурно-функциональной модели ИУС.** Воздействие на систему дестабилизирующих факторов, независимо от характера и природы, определяется последствиями такого воздействия. При этом в результате воздействия происходит нарушение функционирования системы и ее элементов. Необходимо определить условие гарантированного выполнения системой задач и функций, а также целевого предназначения при их воздействии

**Теорема**

Сформированная на основе синтеза структурно-функциональная модель позволяет обеспечить функциональную устойчивость системы, обусловленную выполнением целевого предназначения системы через определенный набор функций и задач, при воздействии на ее элементы ДФ.

Для доказательства теоремы для каждого элемента системы обозначим набор задач $Z$ и функций $F$, использование ресурсов которого позволит их выполнить и обозначим ее функцией $\varphi$, которая сопоставляет каждому элементу (вершине графа) $v_i$ из множества $V$ наборы ресурсов, которые он предоставляет, наборы задач и функций, которые он способен выполнить (участвует в выполнении): $\varphi 1$: $V \rightarrow$M, $\varphi 2$: $V \rightarrow$Z, $\varphi 3$: $V \rightarrow F$.

Обозначим функцию $\gamma$, которая ставит в соответствие каждой линии связи между элементами системы (дуге графа) непустое множество параметров дуг: $\gamma$: $E \rightarrow \Omega$.

1) матрица смежности, характеризует наличие связи между узлами $S$: $s_{ij}=1$ $if$ $\exists e_k=(vi,vj)$, $e_k \in E$, $s_{ij}=0$ $otherwise$ (здесь $if$ представляет собой условный оператор, а $otherwise$ означает «в противном случае»);

2) матрица ресурсов узлов $V$M: $vf_{ij}=1$ $if$ $f_j \in \varphi 3(v_i)$, $vf_{ij}=0$ $otherwise$,

матрица задач узлов $VZ$: $vf_{ij}=1$ $if$ $f_j \in \varphi 2(v_i)$, $vf_{ij}=0$ $otherwise$,

матрица функций узлов $VF$: $vf_{ij}=1$ $if$ $f_j \in \varphi 1(v_i)$, $vf_{ij}=0$ $otherwise$;

3) матрица характеристик для дуг $E\Omega$: $e\omega_{ij}=1$ $if$ $\omega_j \in \gamma(e_i)$, $e\omega_{ij}=0$ $otherwise$.

Система представляет собой совокупность элементов, взаимодействие которых друг с другом осуществляется при наличии связи между ними. В условиях воздействия на нее различных ДФ могут нарушаться связи, а также функционал элементов системы. Рассматривая систему в виде направленного графа, такие воздействия приведут к утере вершин или дуг этого графа. Элементы системы, рассматриваемые как вершины графа, и связи между ними – ребра графа, позволяют формировать базу ресурсов системы, за счет которых она выполняет свои функции и задачи. Ограниченный во времени функционал системы, определяемый потребностями ЛПР, формирует целевое предназначение системы. Воздействие ДФ на систему осуществляется только на элементы (вершины графа), только на связи между ними (ребра графа), одновременно на элементы и связи между ними, а также на группы элементов и их связей. Степень воздействия и его характер для различных элементов может быть различное. Результатом воздействия на систему может быть изменение ее структуры, что отразится на ее функционировании.

Для описания структуры системы, ее процесса ее функционирования, а также результатов воздействия на систему ДФ предлагается использовать матрицы смежности:

структуры системы $S$, в которой отражаются изменения структуры системы. Изменения возникают при удалении вершин и/или ребер графа под действием ДФ;

функциональной структуры системы, в которой отображается функциональные характеристики системы, описывающие способность системы и отдельных ее элементов выполнять функции и задачи системы, а также показывающие перечень ресурсов, которые могут быть предоставлены для использования в системе. Изменения в структуре системы под действием ДФ могут приводить к изменениям в функциональной структуре системы, влиять на качество и своевременность выполнения задач системы, а также к изменениям в матрицах функций $VF$, задач $VZ$, ресурсов $VM$;

характеристик системы $E\Omega$, отображающей технические возможности реализации связей между элементами системы (например, уменьшение скорости передачи данных, увеличение ошибок в канале и т.д). Изменения в данной матрице показывают отсутствие технической возможности выполнения задачи системы, элемента. Изменения в данной матрице появляются при уменьшении/увеличении технических характеристик более/менее заданного требованиями порога.

Для доказательства теоремы необходимо подтвердить выполнение следующих утверждений:

*Утверждение 1:* Изменения в структуре системы при изменении количества ее элементов (вершин $V$ графа) приведет к изменению количества связей, повлияет на способность системы предоставлять для нее ресурс, а также на количество выполняемых ею задач и функций, т.е. матриц $S$, $VM$, $VZ$ и $VF$.

*Утверждение 2:* Изменение характеристик элементов системы (вершин $V$ графа), характеризующих ресурсы из множества $M$, задачи из множества $Z$ и функции из множества $F$, в выполнении которых участвует элемент системы, приведет к изменению матриц $VM$, $VZ$ и $VF$.

*Утверждение 3:* Изменения в структуре системы при изменении количества связей между ними (ребер $E$ графа), приведет к изменению функционала системы и ее связности, т.е. матриц $S$, $E\Omega$.

*Утверждение 4:* Изменение характеристик, определяющих наличие связей между элементами системы (ребер графа), где параметры принадлежат множеству $\Omega$, т.е. матрицы $E\Omega$.

*Доказательство утверждения 1*

Докажем от противного. Допустим, что это не так, и изменения количества элементов системы (вершин графа) не отражаются хотя бы на одной из указанных матриц. Тогда необходимо рассмотреть несколько случаев:

*1. Изменение количества элементов системы не отражается на матрице связности S.*

Предположим, что в системе появился новый элемент, который характеризуется новой вершиной $vi$. Наличие в системе этого элемента позволяет выполнять множество функций $\{fk\}$. $vi$ изначально не имеет связей с другими вершинами. Исходя из определения матрицы смежности $S$ отображает структуру системы, ее элементы и связи между ними, при этом, если вершины $vi$ и $vj$ не являются смежными, то в ней в позиции $(i,j)$ отображается значение «0», иначе – «1», при этом каждому элементу системы соответствует столбец и строка. Таким образом, при появлении нового элемента в системе в матрицу $S$ будет добавляется новые столбец и строка, что приведет к изменению матрицы $S$. Получено противоречие, что говорит о том, что предположение было не верным.

Пусть изменение структуры системы характеризуется удалением элемента из нее и из графа вершины $vi$, используемой для выполнения функций $\{fk\}$. Вершина $vi$ является смежной или несмежной по отношению к каждой из вершин. Матрица $S$ описывает структуру системы (граф) и содержит нули в позициях $(i,j)$, если вершины $vi$ и $vj$ не являются смежными, и единицы, если вершины смежные. При этом, каждому элементу системы (вершине графа $vi$) соответствует строка и столбец матрицы. При удалении вершины будет удалена строка из матрицы $S$, что приведет к ее изменению. Получено противоречие, что говорит о том, что предположение было не верным.

*2. Изменение количества вершин не отражается на матрицах VM, VZ и VF.*

Рассмотрим случай, когда в системе удаляется один элемент (вершина $vi$), функционирование которого нарушено и/или он уничтожен. Этот элемент позволял предоставит множество ресурсов $\{m_k\}$, использовался для выполнения системой задач $\{z_k\}$ и функций $\{f_k\}$. Исходя из определения матриц $VM$, $VZ$ и $VF$ каждой строке матриц соответствует элемент системы (вершина $vi$), а столбцу ресурс системы $m_j$, задача $z_j$, выполняемая системой, и функция $f_j$, соответственно, при этом, элементами матрица в позиции $(i, j)$ будут «0», если элемент системы не предоставляет ресурс, не используется для выполнения задачи или функции, иначе символ «1». Отсутствие в системе элемента приведет к необходимости исключения из матриц $VM$, $VZ$ и $VF$ строки, соответствующей вершине $vi$ или размещению в позиции $(i, j)$ символа «0» вместо символа «1». Произошло изменение матриц $VM$, $VZ$ и $VF$, что противоречит выдвинутому предположению о неизменности матриц $VM$, $VZ$ и $VF$.

При появлении нового элемента в системе (новой вершины графа $vi$), который будет использоваться в системе для предоставления множества ресурсов $\{m_k\}$, позволяющих выполнить множество задач $\{z_k\}$, а также реализовать множество функций $\{f_k\}$. Матрицы $VM$, $VZ$ и $VF$, исходя из их определения, каждая строка характеризует один элемент системы (вершину графа $vi$), а столбец ресурс, задачу, функцию, соответственно, при этом,

в позиции ($i$, $j$) в матрице находится значение «0», если элемент системы не способен предоставить ресурс $m_j$, решить задачу $z_j$, выполнить функцию $f_j$, иначе в ней символ «1».При появлении в системе нового элемента в матрицах $VM$, $VZ$ и $VF$ в позициях, характеризующих возможность предоставления ресурса для системы, решения задач системы и выполнения функций будет символ «0», а также появится новая строка в них. Получено противоречие, что говорит о том, что предположение было не верным.

*Утверждение 2:* Изменение характеристик элементов системы (вершин $V$ графа), характеризующих ресурсы из множества $M$, задачи из множества $Z$ и функции из множества $F$, в выполнении которых участвует элемент системы, приведет к изменению матриц $VM$, $VZ$ и $VF$.

*Доказательство утверждения 2*

Докажем от противного. Допустим, что изменения множества характеристик элементов системы не отражаются на указанной матрицах $VM$, $VZ$ и $VF$.

Предположим, что структура системы не изменилась, а вследствие модернизации оборудования и элементов системы произошло изменение технических характеристик элемента, что характеризуется увеличение количества и качества предоставляемых для системы ресурсов из множества ресурсов $\{m_k\}$, способности решения большего количества задач из множества задач $\{z_k\}$ и выполнять новые функции из множества функций $\{f_k\}$. Исходя из определения $VM$, $VZ$ и $VF$, если элемент системы (вершина графа $vi$), способен предоставит ресурс $m_j$, решить $z_j$ задачу, выполнить $f_j$ функцию, то в позиции ($i$, $j$), матрицы $VM$, $VZ$ и $VF$, соответственно, содержали символ «1», иначе символ «0». При этом, каждая строка характеризует один элемент системы (вершину графа $vi$), а каждый столбец ресурс системы, задачу, функцию, соответственно. Изменение характеристик элемента системы, повлекшие появление у него возможности предоставлять новый (другой) или дополнительно (такой же) ресурс, решать новую задачу, выполнять новую функцию приведет к отображению в позиции ($i$, $j$), матрицы $VM$, $VZ$ и $VF$ символов «1», вместо символов «0», а также появлению новых столбцов в матрицах, если ресурс, задача и/или функция новые. Получено противоречие, что говорит о том, что предположение было не верным.

Теперь предположим, что при неизменной структуре системы из-за воздействия на ее элемент произошло изменение технических характеристик элемента, что характеризуется потерей способности предоставлять для системы ресурсы из множества ресурсов $\{m_k\}$, решения меньшего количества задач из множества задач $\{z_k\}$ и выполнять функции из множества функций $\{f_k\}$. Исходя из определения $VM$, $VZ$ и $VF$, если элемент системы (вершина графа $vi$), способен предоставит ресурс $m_j$, решить $z_j$ задачу, выполнить

$f_j$ функцию, то в позиции $(i, j)$, матрицы $VM$, $VZ$ и $VF$, соответственно, содержали символ «1», иначе символ «0». При этом, каждая строка характеризует один элемент системы (вершину графа $vi$), а каждый столбец ресурс системы, задачу, функцию, соответственно. Изменение характеристик элемента системы, повлекшие пропадание у него возможности предоставлять ресурс(ы), решать задачу(и), выполнять функцию(и) приведет к отображению в позиции $(i, j)$, матрицы $VM$, $VZ$ и $VF$ символов «0», вместо символов «1». Получено противоречие, что говорит о том, что предположение было не верным.

*Утверждение 3:* Изменения в структуре системы при изменении количества связей между ними (ребер $E$ графа), приведет к изменению функционала системы и ее связности, т.е. матриц $S$, $E\Omega$.

*Доказательство утверждения 3*

Докажем от противного. Предположим, что это не так, и изменения множества дуг не отражаются хотя бы на одной из указанных матриц. Тогда необходимо рассмотреть несколько случаев.

*1. Изменение количества дуг не отражается на матрице S.*

Рассмотрим ситуацию при которой, независимо от причины, произошло нарушение структуры системы и взаимосвязь, описываемая ребром графа $e_k$, пропала. Из определения матрицы $S$, описывающей структуру системы, следует, что при наличии связи между элементами системы, описываемых вершинами графа $v_i$ и $v_j$, когда элементы смежные, в позиции $(i, j)$ матрицы находится символ «1», а при отсутствии «0». После пропадания связи между элементами в системе они становятся не смежными, что приводит к тому что в исходной матрице $S$ в позиции $(i, j)$ вместо символа «1» становится символ «0», что противоречит нашему предположению о неизменности матрицы $S$ и говорит о том, что оно неверное.

При появлении новой связи в системе между ее элементами, описываемой ребром графа $e_k$, не зависимо от причины, происходит изменение структуры системы. Из определения матрицы $S$, описывающей структуру системы, следует, что при наличии связи между элементами системы, описываемых вершинами графа $v_i$ и $v_j$, когда элементы смежные, в позиции $(i, j)$ матрицы находится символ «1», а при отсутствии «0». После появления новой связи между элементами в системе они становятся смежными, что приводит к тому что в исходной матрице $S$ в позиции $(i, j)$ вместо символа «0» становится символ «1», что противоречит нашему предположению о неизменности матрицы $S$ и говорит о том, что оно неверное.

*2. Изменение количества ребер не отражается на матрицах EΩ.*

Рассмотрим ситуацию при которой, независимо от причины, произошло нарушение

структуры системы и взаимосвязь, описываемая ребром графа $e_i$, пропала. Из определения матрицы $E\Omega$, следует, что если связь между элементами системы, описываемыми вершинами графа $v_i$ и $v_j$, имеется и она описывается ребром $e_i$, которое обладает характеристиками из множества $\{\omega_j\}$, то для каждой характеристики $\omega_j$, соответствующей столбцу матрицы $E\Omega$, если она присуща этой связи, описываемой ребром $e_i$, в позиции $(i, j)$ находится символ «1», а при отсутствии «0». После пропадания связи между элементами в системе они становятся не смежными, а в графе, описывающем систему пропадает ребро $e_i$, что приводит к тому что в исходной матрице $E\Omega$ пропадает строка, которая в исходной матрице $E\Omega$ характеризовала связь между элементами системы и описывалась ребром $e_i$, что противоречит нашему предположению о неизменности матрицы $E\Omega$ и говорит о том, что оно неверное.

Рассмотрим ситуацию при которой, независимо от причины, произошло изменение структуры системы и появилась новая взаимосвязь между ее элементами, описываемая ребром графа $e_i$. Из определения матрицы $E\Omega$, следует, что если связь между элементами системы, описываемыми вершинами графа $v_i$ и $v_j$, имеется и она описывается ребром $e_i$, которое обладает характеристиками из множества $\{\omega_j\}$, то для каждой характеристики $\omega_j$, соответствующей столбцу матрицы $E\Omega$, если она присуща этой связи, описываемой ребром $e_i$, в позиции $(i, j)$ находится символ «1», а при отсутствии «0». После появления новой связи между элементами в системе они становятся смежными, а в графе, описывающем систему появляется новое ребро $e_i$, что приводит к тому что в исходной матрице $E\Omega$ в появляется новая строка, описывающая новое ребро $e_i$, что противоречит нашему предположению о неизменности матрицы $E\Omega$ и говорит о том, что оно неверное.

*Утверждение 4:* Изменение характеристик, определяющих наличие связей между элементами системы (ребер графа), где параметры принадлежат множеству Ω, ведет к изменению матрицы $E\Omega$.

*Доказательство утверждения 4*

Докажем от противного. Допустим, что это не так, и изменения множества параметров ребер не отражаются на указанной матрице.

Предположим, что структура системы не изменилась, а вследствие модернизации оборудования и элементов системы произошло изменение технических характеристик связи между элементами системы, описываемой ребром $e_i$ графа. Первоначально она обладала характеристиками из множества $\{\omega_k\}$, а после у нее появилась новая характеристика $\omega_j$, принадлежащая этому множеству. Из определения матрицы $E\Omega$, следует, что если связь между элементами системы, описываемыми вершинами графа $v_i$ и $v_j$, имеется и она описывается ребром $e_i$, которое обладает характеристиками из множества

$\{\omega_j\}$, то для каждой характеристики $\omega_j$, соответствующей столбцу матрицы $E\Omega$, если она присуща этой связи, описываемой ребром $e_i$, в позиции $(i, j)$ находится символ «1», а при отсутствии «0». Появление новой характеристики приведет к появлению нового столбца в матрице $E\Omega$, который будет описывать новую характеристику $\omega_j$ или, если столбец с такой характеристикой есть, а для связи между элементами системы она новая, то в позиции $(i, j)$ появится символ «1», вместо символа «0». Следовательно, получено противоречие и наше предположение не верно.

Теперь предположим, что при неизменной структуре системы из-за воздействия на нее ДФ произошло изменение технических характеристик связи между элементами системы, описываемой ребром $e_i$ графа. Первоначально она обладала характеристиками из множества $\{\omega_k\}$, а после у нее пропала характеристика $\omega_j$, принадлежащая этому множеству. Из определения матрицы $E\Omega$, следует, что если связь между элементами системы, описываемыми вершинами графа $v_i$ и $v_j$, имеется и она описывается ребром $e_i$, которое обладает характеристиками из множества $\{\omega_j\}$, то для каждой характеристики $\omega_j$, соответствующей столбцу матрицы $E\Omega$, если она присуща этой связи, описываемой ребром $e_i$, в позиции $(i, j)$ находится символ «1», а при отсутствии «0». Пропадание характеристики приведет к пропаданию столбца в исходной матрице $E\Omega$, который будет описывать пропавшую характеристику $\omega_j$ или, если столбец с такой характеристикой остается, а для связи между элементами системы она пропала, то в позиции $(i, j)$ появится символ «0», вместо символа «1». Следовательно, получено противоречие и наше предположение не верно.

Все сформулированные утверждения доказаны, следовательно, можно сделать вывод о том, что разработанная структурно-функциональная модель системы обладает полнотой для выполнения целевого предназначения системы. Данная модель составляет основу принципа инвариантности, поскольку она позволяет отразить корректное функционирование системы, функционирование системы после воздействия на нее различных ДФ, определить количество выполненных задач, функций системы, т.е. оценить функциональную устойчивость.

Концептуальная модель процесса функционирования ИУС описывает функционирование системы и позволяет говорить о том, что для данной системы существует множество функциональных элементов, которые характерны для нее. Однако целостную картину, позволяющую описать возможности системы по реализации ее целевого предназначения, а также позволить представить условия синтеза системы при изменяющейся обстановке, позволить дать структурно-функциональная модель ИУС. Основная особенность такой модели наличие гармоничной связи между структурой

системы и ее функциональной характеристикой через ресурсы. Дальнейшее исследование направлено на обеспечение ЛПР достоверной информацией о возможностях системы, состоянии ее элементов, факторах, влияющих на ее функционирование, а также вариантах (сценариях) действий, позволяющих переходить из одного состояния ИУС в другой функционально устойчивое.

## 3.5. Структурно-функциональная модель ИУС АН, как объекта критической информационной инфраструктуры

В рамках реализации риск ориентированного обеспечения процесса функционирования ИУС необходимо понимать возможности системы, ее максимальную способность выполнить наибольшее количество задач и функций. Для этой цели необходимо разработать структурно-функциональную модель ИУС, которая с одной стороны описывает структуру системы, а с другой стороны связывает структуру с процессом функционирования системы.

Способность воздействовать на систему различных ДФ, количество которых с каждым годом только растет, приводит к нарушению ее функционирования. Наиболее опасными факторами, влияющими на процесс функционирования ИУС является преднамеренные информационно-технические воздействия, приводящие к снижению пропускной способности линий связи [317, 318]. В настоящее время одной из часто реализуемых атак на элементы технических систем является атака типа «отказ в обслуживании», при этом доля таких воздействий с каждым годом только растет.

В условиях воздействия различных ДФ особое значение приобретает требования к системе по устойчивости ее функционирования, при этом обеспечение ее устойчивости не сводится к сохранению своих характеристик в установленных нормах, требуется обеспечение выполнения функций и задач системы с требуемым качеством, позволяющих выполнить целевое предназначение системы [31, 65, 296, 319]. Способность выполнять задачи и функции системы определяется постоянным знанием ЛПР реальной обстановки состояния, наличия ресурсов системы, а также изменением такого состояния. Основными элементами, обеспечивающими процесс получения данной информации, являются системы контроля и мониторинга функционирования системы и реализация обратной связи, характеризующей возможности по воздействию ЛПР на систему на основании результатов контроля функционирования системы, наличия и состояния ресурсов[23, 24, 320, 321]. Процесс управления и реализация обратной связи осуществляется по каналам управления,

который условно можно разделить на каналы контроля (КК) и мониторинга (КМ) и каналы только управления (КУ).

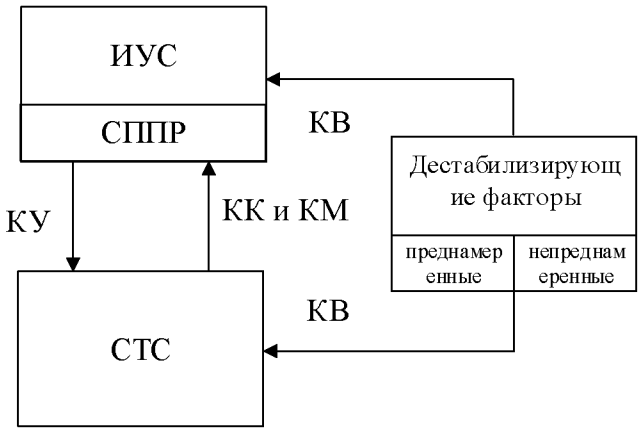



Рисунок 3.21 – Обобщенная модель функционирования ИУС в условиях воздействия ДФ

На рисунке 3.21 представлена обобщенная модель взаимодействия СТС АН и ИУС АН, включающая систему принятия решения (СППР), которая функционирует в условиях воздействия ДФ [195, 322, 323], реализуемых по каналу воздействия (КВ).

Для количественной оценки функциональной устойчивости ИУС в условиях воздействия ДФ с учетом заданных параметров построения системы необходима соответствующая математическая модель, которая и рассматривается далее. Предлагаемая модель представлена в виде основных функциональных зависимостей рассчитываемых показателей структурной и функциональной устойчивости от исходных данных, подготавливаемых с помощью графо-матричной модели функционирования ИУС, а также модели воздействия дестабилизирующих факторов с учетом динамического изменения параметров элементов системы.

Отличительной особенностью предлагаемой модели является то, что она позволяет оценивать не только структурную составляющую процесса функционирование системы, но и ее функциональную устойчивость, т.е. способность системы выполнить требуемый объем задач и функций.

**Постановка задачи**

Исходя из необходимости рассмотрения структурной и функциональной составляющих, характеризующих процесс функционирования СС, а также актуальности разработки модели для оценки функциональной устойчивости системы связи будет следующая постановка задачи.

Разрабатываемая модель ИУС будет характеризоваться следующим выражением,

показывающим: существует такой набор элементов $r(t)$, структур системы $v(t)$, и функциональных характеристик (множество функций, задач и целей) $u(t)$, при воздействии любых дестабилизирующих факторов $d(t)$, для которых выполняется функция $f(\ )$, характеризующая такое построение системы, которое характеризует ее эффективность и способность выполнить целевое предназначение $I(Q_ф)$:

$$\exists к(е)б\ \exists м(е)б\ \exists г(е)б\ \forall в(е)Ж\ а(г(е)б\ м(е)б\ к(е)) \rightarrow Ш(Й_ф)б$$

где $r(t)$ – множество ресурсов системы, $v(t)$ – вектор структуры системы, $u(t)$ – вектор функциональной структуры системы, включающей векторы функций, задач и целей системы, $d(t)$– вектор воздействия ДФ.

Разработка графо-матричной структурно-функциональной модели ИУС АН, позволит оценивать возможности существующей системы или ее элементов по обеспечению процесса устойчивого функционирования через количественную оценку ее задач и функций. Модель представляет собой совокупность матриц:

характеризующих структуру системы:

– матрица $\boldsymbol{Y}_X=\{y_{Xi,j}\}_{XxX}$ смежности, включающая признаки наличия узловых и линейных сетевых элементов, соединяющих вершины графа (узлы) $i,j\in[1,X]$, где $X$ – общее количество вершин (узлов) в системе;

матрица $\boldsymbol{Y}_{пс}=\{y_{псi,j}\}_{XxX}$ и вектор $\boldsymbol{cN}=\{cX_k\}_K$ пропускных способностей сетевых элементов;

матрица $\boldsymbol{Y}_г=\{y_{гi,j}\}_{XxX}$ и вектор $\boldsymbol{pN}=\{cX_k\}_K$ коэффициентов готовности сетевых элементов;

матрица $\boldsymbol{Y}_{вк}=\{y_{вкi,j}, y_{вкi,j}\}_{XxX}$ весовых коэффициентов элементов системы и связей между ними;

матрица $\boldsymbol{Y}_{ип}=\{y_{ипi,j}\}_{XxX}$ информационных потоков между элементами системы в единицах требуемой пропускной способности для обеспечения требуемого качества обслуживания;

матрица $\boldsymbol{Y}_{тп}=\{y_{тпi,j}\}_{XxX}$ технологических потоков между элементами системы;

матрица $\boldsymbol{Y}_{пип}=\{y_{пипi,j}\}_{XxX}$ приоритетов информационных потоков между элементами системы;

матрица $\boldsymbol{Y}_{птп}=\{y_{птпi,j}\}_{XxX}$ приоритетов информационных потоков между элементами системы;

характеризующих функционирование системы:

матрица $\boldsymbol{Y}_E=\{y_{Ei,j}\}$задействования ресурсов системы;

матрица $\boldsymbol{Y}_Z=\{y_{Zi,j}\}$ выполнения задач системы;

матрица $\boldsymbol{Y}_F=\{y_{Fi,j}\}$ выполнения функций системы;

матрица $\boldsymbol{Y}_T=\{y_{Ti,j}\}$ требований, предъявляемых к системе и ее элементам;

матрица $\boldsymbol{Y}_A=\{y_{Ai,j}\}$ выполнения целей системы;

матрица $\boldsymbol{Y}_{X\text{-}E}=\{y_{i,j}\}$ предоставления ресурсов, включающая ресурсы, которые предоставляют элементами системы;

матрица $\boldsymbol{Y}_{Z\text{-}E}=\{y_{Zi,j}\}$ выполнения задач, включающая ресурсы задействованные для выполнения каждой задачи;

матрица $\boldsymbol{Y}_{F\text{-}Z}=\{y_{Fi,j}\}$ выполнения функций, включающая функции и задачи, выполнение которых позволит выполнить каждую функцию;

матрица $\boldsymbol{Y}_{A\text{-}F}=\{y_{Ai,j}\}$ выполнения целей, включающая цели и функции, выполнение которых позволит выполнить каждую цель;

матрица $\boldsymbol{Y}_{E\text{-}T}=\{y_{Ei,j}\}$ соответствия ресурсов, предъявляемым к ним требованиям;

матрица $\boldsymbol{Y}_{Z\text{-}T}=\{y_{Zi,j}\}$ соответствия задач, предъявляемым к ним требованиям;

матрица $\boldsymbol{Y}_{F\text{-}T}=\{y_{Fi,j}$ соответствия функций, предъявляемым к ним требованиям;

матрица $\boldsymbol{Y}_{A\text{-}T}=\{y_{Ai,j}\}$ соответствия целей, предъявляемым к ним требованиям.

Исходными данными для модели являются: орграф топологической структуры ИУС, включающий все возможные элементы $G(X, L)$, где $X$ – множество вершин (узлов), $L$ – множество ребер $e\in L$, множество $C$ пропускных способностей сетевых элементов (вершин и ребер) $c\in C$, множество $\Lambda$ технологических и информационных потоков данных $\lambda\in\Lambda$, множество $T$ параметров, характеризующих функционирование к ИУС и ее элементам $T\in T_n$ и множество $D$ параметров ДФ, действующих на отдельные элементы $d(t)\in D$.

При рассмотрении ИУС ее элементы обладают определенным рангом, изменяющимся от большего к меньшему $r=1, \ldots, r_{\max}$. При задании параметров информационного и технологического трафиков учитывается распределение функций и задач между элементами системы. При заполнении матрицы приоритетов информационных потоков используется сквозная нумерация, при этом элементы могут иметь одинаковый или разный приоритет. В системе используется главный узел, на котором размещается оборудование контроля, серверы сбора данных и оборудование для формирования сценариев в систему поддержки принятия решений, узлы на которых находятся оконечные устройства, средства связи и промежуточные узлы, которые управляют оконечными узлами, а также являются транзитными для прохождения информации в системе от одного узла к другому. Оконечные и промежуточные узлы являются агентами системы контроля.

## Описание модели системы

Разработка моделей сложных технических систем и процессов является трудоемкой

задачей, из-за необходимости учитывать множество процессов, происходящих в ней. Кроме этого, множество элементов контроля в системе способствует возникновению трудностей по их учету, необходимости работы с большими объемами данных. Для снижения трудозатрат на обработку данных используется математический аппарат теорий графом и матриц, позволяющий описывать иерархические системы через взаимовложенные матрицы. Такое описание системы, работа с базами данных позволит значительно уменьшить время необходимое на обнаружение нарушений устойчивого функционирования ИУС и ее элементов, своевременно предоставлять информацию о состоянии системы и ее элементов в управляющий контур, а также реагировать на любые события в ней в режиме времени близком к реальном [23, 319, 324, 325].

Описание системы рассмотрим на примере графа, описывающего ее структуру и состоящего из десяти вершин, соответствующих элементам системы $\{X1, \ldots, X10\}$ и ребер, имитирующих линий взаимодействия между ними. Предложенный граф (рис. 3.22) условно позволяет описать любую систему, состоящую из различного количества элементов и имеющую различное количество связей между ними, что не требует внесения в него дополнительных элементов. Большинство систем являются иерархическими, их элементы находятся в определенной зависимости друг от друга, что позволяет структурировать элементы системы по уровням. В рамках предлагаемой модели ИУС, описываемой графом на рис. 3.22, предлагается рассмотреть один элемент как главный, другую часть элементов как промежуточные и оконечные, которые выступают в качестве подчиненных главному. X1 будет главным элементом, X3, X7 промежуточными, а оконечными -X2, X4, X5, X6, X8, X9, X10. Представленный граф отражает только информационные потоки и не учитывает технологические каналы, позволяющие осуществлять процесс управления ИУС и реализовывать обратную связь реакции системы на воздействие ЛПР.

Возможность реализации обратной связи в процессе управления ИУС, описываемой графом на рисунке 3.22, покажем добавлением в него дополнительных ребер, характеризующих технологические каналы управления (рис. 3.23). Предположим, что пропускная способность (ПС) каналов связи и технологических каналов управления достаточная для передачи служебной и другой информации. Объем задач и функций, которые необходимо выполнить системе, описываемой графами на рисунках 2 и 3, одинаковый. Технологические каналы управления используются в интересах системы контроля и мониторинга системы и реализации команд управления. Граф на рисунке 3.22 является подграфом, графа, представленного на рисунке 3.23. Полученный на рисунке 3.23 граф является полноценным примером графа, описывающего ИУС, процесс ее контроля и управления ею.

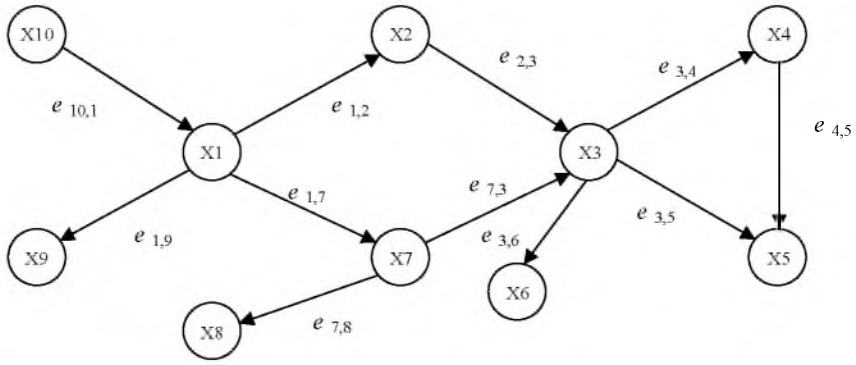



Рисунок 3.22. Пример структуры ИУС $G(X, L)$

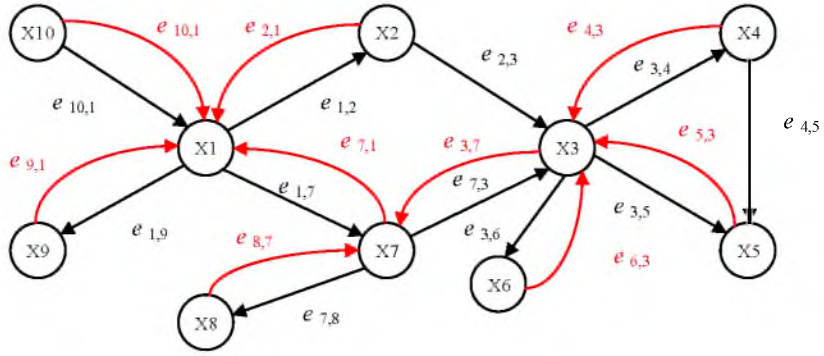



Рисунок 3.23. Пример структуры ИУС $G(X, L)$ с каналами управления

Граф на рисунке 3.23 опишем в виде совокупности матриц, характеризующих структуру и функциональную характеристику системы.

Рассмотрим более подробно матрицы, характеризующие структуру СС:

матрица $\boldsymbol{Y}_X=\{y_{Xj}\}_{XxX}$ смежности, включающая признаки наличия узловых и линейных элементов, соединяющих вершины графа (узлы) $i,j\in[1,X]$, где $X$ – общее количество вершин (узлов) в системе. Матрица $\boldsymbol{Y}_X$, соответствующая графу на рис. 3.23, приведена в виде таблицы 3.2.

Таблица 3.2 – Матрица смежности $\boldsymbol{Y}_X$

| | X1 | X2 | X3 | X4 | X5 | X6 | X7 | X8 | X9 | X10 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| X1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 |
| X2 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| X3 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| X4 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| X5 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| X6 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| X7 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| X8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| X9 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| X10 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |

Единичным элементам $y_{Xi,j} = 1$ матрицы смежности $\boldsymbol{Y}_X$ соответствуют присутствующие сетевые элементы (с индексами $i, j$), а нулевым $y_{Xi,j} = 0$ – отсутствующие.

2) $\boldsymbol{Y}_{\text{пс}}=\{y_{\text{пс}i,j}\}_{X\text{x}X}$, $i = 1, \ldots, X$, $j = 1, \ldots, X$, – матрица ПС элементов ИУС. В качестве единицы измерения ПС будем использовать скорость основного цифрового канала (ОЦК), которая равна 64 кбит/с, а обозначать как Е0. Предположим, что все связи имеют равную ПС 10Е0, а каналы управления - 2Е0. ПС вершин будет 20Е0. В таблице 3.3 представлена матрица ПС $\boldsymbol{Y}_{\text{пс}}$, описывающая граф на рис. 3.23. Отсутствующим ребрам в матрице соответствует нулевая ПС.

Таблица 3.3 – Матрица ПС $\boldsymbol{Y}_{\text{пс}}$ в единицах Е0

| | X1 | X2 | X3 | X4 | X5 | X6 | X7 | X8 | X9 | X10 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| X1 | 20 | 10 | 0 | 0 | 0 | 0 | 10 | 0 | 10 | 0 |
| X2 | 2 | 20 | 10 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| X3 | 0 | 0 | 20 | 10 | 10 | 10 | 2 | 0 | 0 | 0 |
| X4 | 0 | 0 | 2 | 20 | 10 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| X5 | 0 | 0 | 2 | 0 | 20 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| X6 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 20 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| X7 | 2 | 0 | 10 | 0 | 0 | 0 | 20 | 10 | 0 | 0 |
| X8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 20 | 0 | 0 |
| X9 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 20 | 0 |
| X10 | 10 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 20 |

3) $\boldsymbol{Y}_{\text{г}}=\{y_{\text{г}i,j}\}_{X\text{x}X}$, $i$=1, …, $X$, $j$=1, …, $X$ – матрица коэффициентов технической готовности (КТГ) элементов системы. Для построения матрицы рассмотрим случай, когда все элементы системы, за исключением первого, имеют одинаковые коэффициенты готовности 0,999. Первый элемент является главным, для него КТГ равен 1. Для всех связей между элементами системы КТГ будет одинаковый, и его величина составит 0,9. Матрица $\boldsymbol{Y}_{\text{г}}$, приведена в виде таблицы 3.4. Отсутствие ребра между вершинами графа определяет нулевое значение в ячейке матрицы.

Таблица 3.4 – Матрица коэффициентов готовности сетевых элементов $\boldsymbol{Y}_{\text{г}}$

| | X1 | X2 | X3 | X4 | X5 | X6 | X7 | X8 | X9 | X10 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| X1 | 1 | 0,9 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,9 | 0 | 0,9 | 0,9 |
| X2 | 0,9 | 0,999 | 0,9 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| X3 | 0 | 0,9 | 0,999 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0 | 0 | 0 |
| X4 | 0 | 0 | 0,9 | 0,999 | 0,9 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| X5 | 0 | 0 | 0,9 | 0,9 | 0,999 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| X6 | 0 | 0 | 0,9 | 0 | 0 | 0,999 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| X7 | 0,9 | 0 | 0,9 | 0 | 0 | 0 | 0,999 | 0,9 | 0 | 0 |
| X8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,9 | 0,999 | 0 | 0 |
| X9 | 0,9 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,999 | 0 |
| X10 | 0,9 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,999 |

Для рассматриваемой системы КТГ описывает способность элемента системы быть использованным для выполнения необходимых функций и задач системы в моменты времени, когда это требуется. Для технологических каналов управления КТГ может задаваться с учетом возможного воздействия на них и элементы системы различных ДФ, которые могут привести к нарушению, прекращению их функционирования. В результате воздействия на систему и ее элементы различных факторов может происходить снижение ПС каналов связи, что приведет к ограничению доступа к сетевым ресурсам системы. В модели рассматриваются различные виды воздействия ДФ, которые могут приводить к нарушению функционирования системы, т.е создавать предпосылки к невыполнению целевого предназначения ИУС, при это рассматриваются не тип и характер воздействия, а их последствия.

4) $\boldsymbol{Y}_{\text{вк}}=\{y_{\text{вк}i,j}, y_{\text{вк}i,j}\}_{X\text{x}X}$, $i=1, \ldots, X$, $j=1, \ldots, X$– матрица весовых коэффициентов сетевых элементов. Она используется при оценке условной длины маршрутов между элементами системы в виде суммарного веса элементов, входящих в маршрут, а также количества маршрутов между любыми парами узлов в системе. Для удобства сравнения результатов предположим, что веса элементов графа ИУС, представленного на рис. 3.23, соответственно равны для ГУ – 5, для ПУ – 3, для ОУ – 1, тогда матрица весовых коэффициентов $\boldsymbol{Y}_{\text{вк}}$ будет иметь вид таблицы 3.5а.

Таблица 3.5а – Матрица весовых коэффициентов $\boldsymbol{Y}_{\text{вк}}$ для графа ИУС на рисунке 3.22

| | X1 | X2 | X3 | X4 | X5 | X6 | X7 | X8 | X9 | X10 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| X1 | 0 | ∞ | | ∞ | ∞ | ∞ | ∞ | ∞ | ∞ | 6 |
| X2 | 6 | 0 | | ∞ | ∞ | ∞ | ∞ | ∞ | ∞ | ∞ |
| X3 | ∞ | 4 | 0 | ∞ | ∞ | ∞ | 6 | ∞ | ∞ | ∞ |
| X4 | ∞ | ∞ | 4 | 0 | ∞ | ∞ | ∞ | ∞ | ∞ | ∞ |
| X5 | ∞ | ∞ | 4 | 2 | 0 | ∞ | ∞ | ∞ | ∞ | ∞ |
| X6 | ∞ | ∞ | 4 | ∞ | ∞ | 0 | ∞ | ∞ | ∞ | ∞ |
| X7 | 8 | ∞ | ∞ | ∞ | ∞ | ∞ | 0 | ∞ | ∞ | ∞ |
| X8 | ∞ | ∞ | ∞ | ∞ | ∞ | ∞ | 4 | 0 | ∞ | ∞ |
| X9 | 6 | ∞ | ∞ | ∞ | ∞ | ∞ | ∞ | ∞ | 0 | ∞ |
| X10 | ∞ | ∞ | ∞ | ∞ | ∞ | ∞ | ∞ | ∞ | ∞ | 0 |

Весовые коэффициенты маршрутов, выбранные для примера, не являются основанием для выбора маршрута, используемого в системе, они лишь определяют важность элементов и маршрута для системы. Фактором влияющими на выбор маршрута является ПС связи, достаточная для обслуживания потоков данных, и обеспечивающая выполнение целевого предназначения системы, а также минимальное количество ресурсов, задействованных для его построения. Если требуемая ПС маршрутов для обслуживания

заданных потоков будет превышать доступную для них ПС ребер, входящих в предварительно отобранные маршруты с минимальным или допустимым суммарным весом, то эти ребра не будут учитываться, даже если их веса будут минимальными, например, равными 1. Добавив минимальные веса в матрицу $\boldsymbol{Y}_{\text{вк}}$ для дополнительных ребер графа ИУС, можно использовать эту матрицу (табл. 3.5б) и при формировании маршрутов для системы, гарантируя, что эти ребра не будут использоваться для обмена информацией.

Таблица 3.5б – Матрица весовых коэффициентов $\boldsymbol{Y}_{\text{вк}}$ для графа на рисунке 3.23

| | X1 | X2 | X3 | X4 | X5 | X6 | X7 | X8 | X9 | X10 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| X1 | 0 | ∞ | | ∞ | ∞ | ∞ | ∞ | ∞ | ∞ | 6 |
| X2 | 6 | 0 | | ∞ | ∞ | ∞ | ∞ | ∞ | ∞ | ∞ |
| X3 | ∞ | 4 | 0 | ∞ | ∞ | ∞ | 6 | ∞ | ∞ | ∞ |
| X4 | ∞ | ∞ | 4 | 0 | ∞ | ∞ | ∞ | ∞ | ∞ | ∞ |
| X5 | ∞ | ∞ | 4 | 2 | 0 | ∞ | ∞ | ∞ | ∞ | ∞ |
| X6 | ∞ | ∞ | 4 | ∞ | ∞ | 0 | ∞ | ∞ | ∞ | ∞ |
| X7 | 8 | ∞ | ∞ | ∞ | ∞ | ∞ | 0 | ∞ | ∞ | ∞ |
| X8 | ∞ | ∞ | ∞ | ∞ | ∞ | ∞ | 4 | 0 | ∞ | ∞ |
| X9 | 6 | ∞ | ∞ | ∞ | ∞ | ∞ | ∞ | ∞ | 0 | ∞ |
| X10 | 1 | ∞ | ∞ | ∞ | ∞ | ∞ | ∞ | ∞ | ∞ | 0 |

5) $\boldsymbol{Y}_{\text{тп}}=\{y_{\text{тп}i,j}\}_{X\text{x}X}$, $\boldsymbol{Y}_{\text{ип}}=\{y_{\text{ип}i,j}\}_{X\text{x}X}$, $i$=1, …, $X$, $j$=1, …, $X$ – матрицы технологических и информационных потоков между элементами системы, в единицах требуемой пропускной способности с необходимым запасом на пульсации трафика, гарантирующим требуемое качество обслуживания с учетом используемых сетевых механизмов управления трафиком.

Таблица 3.6а – Матрица $\boldsymbol{Y}_{\text{тп}}$

| | X1 | X2 | X3 | X4 | X5 | X6 | X7 | X8 | X9 | X10 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| X1 | 2 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 |
| X2 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| X3 | 0 | 0 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| X4 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| X5 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| X6 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| X7 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 2 | 1 | 0 | 0 |
| X8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| X9 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| X10 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Для примера предположим, что в ИУС между ГС на X1 и ПС на X7 в обе стороны требуется обеспечить технологический поток величиной 1E0. Такой же (дуплексный) поток 1E0 пусть требуется обеспечить между ГС на X1 и подчиненными ей ОС X2, X9, X10, между ПС на X7 и подчиненным ей ОС X8 и X3, а также между ПС на X3 и подчиненными

ей ОС X4, X5, X6. Будем также полагать, что существуют такие же внутренние технологические потоки запросов и ответов между ГС X1, а также между ПС X3. Заполненная указанными значениями требуемой ПС матрица технологических потоков представлена в таблице 3.6.

В ИУС для примера зададим величину отдельных информационных потоков 4E0 между всеми элементами системы, которые могут иметь соединение с учетом направленности ребер исходного графа (рис. 3.22). Заполненная таким образом матрица информационных потоков представлена в таблице 6б.

Таблица 3.6б – Матрица $\boldsymbol{Y}_{\text{ип}}$

| | X1 | X2 | X3 | X4 | X5 | X6 | X7 | X8 | X9 | X10 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| X1 | 0 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 0 |
| X2 | 0 | 0 | 4 | 4 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| X3 | 0 | 0 | 0 | 4 | 4 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| X4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| X5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| X6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| X7 | 0 | 0 | 4 | 4 | 4 | 4 | 0 | 4 | 0 | 0 |
| X8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| X9 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| X10 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 0 |

6) $\boldsymbol{Y}_{\text{пип}}=\{y_{\text{пип}i,j}\}_{X\text{x}X}$ и $\boldsymbol{Y}_{\text{птп}}=\{y_{\text{птп}i,j}\}_{X\text{x}X}$, $i=1, \ldots, X$, $j=1, \ldots, X$ – матрицы приоритетов ТП и ИП потоков между элементами системы. Данные матрицы относятся к исходным данным, которые существенным образом влияют на результаты расчетов частных и обобщенных показателей устойчивости функционирования ИУС, особенно в условиях ограниченности ресурсного обеспечения. Это требует перераспределение ресурсов, потоков, функций и задач между элементами системы. Кроме этого, необходимо определение приоритета их выполнения с учетом наиболее важных и критически значимых. При заполнении матриц $\boldsymbol{Y}_{\text{пип}}$ и $\boldsymbol{Y}_{\text{птп}}$ используется сквозная нумерация. Приоритет ТП выше, чем ИП, т.к. они характеризуют каналы управления.

Зададим наивысший первый приоритет для ТП между ГУ X1 и ПУ X7, а между остальными элементами ИУС ГУ – ОУ и ПУ – ОУ второй приоритет. Всем ИП назначим третий приоритет. Такие матрицы показаны в таблицах 3.7 а и б, соответственно.

Таблица 3.7а – Матрица $\boldsymbol{Y}_{\text{ттт}}$

| | X1 | X2 | X3 | X4 | X5 | X6 | X7 | X8 | X9 | X10 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| X1 | 1 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 2 | 2 |
| X2 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| X3 | 0 | 0 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| X4 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| X5 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| X6 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| X7 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 2 | 0 | 0 |
| X8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 |
| X9 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| X10 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Таблица 3.7б – Матрица $\boldsymbol{Y}_{\text{ппп}}$

| | X1 | X2 | X3 | X4 | X5 | X6 | X7 | X8 | X9 | X10 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| X1 | 0 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 0 |
| X2 | 0 | 0 | 3 | 3 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| X3 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| X4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| X5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| X6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| X7 | 0 | 0 | 3 | 3 | 3 | 3 | 0 | 3 | 0 | 0 |
| X8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| X9 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| X10 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 0 |

Матрицы, описывающие граф на рисунке 3.22, характеризуют только структур ИУС, ее ТП и ИП, однако не позволяют формализовать процессы функционирования системы. Для его описания, а также возможностей по реализации функций и задач в условиях имеющего ресурса рассмотрим модель процесса функционирования системы (рис. 3.18), описываемую набором матриц, при этом каждая вершина пятигранника описывается своей матрицей (набором матриц).

Рассмотрим матрицы, описывающие модель процесса функционирования ИУС:

1) $\boldsymbol{Y}_A=\{y_{Ai,j}\}$, $i$=1, …, $a$, $j$=1, …, $a$, где $a$ – общее количество целей для системы, – диагональная матрица целей системы (табл. 3.8). Данная матрица характеризует наличие и количество целей в ИУС. Выполнение всех целей данной матрицы, характеризует выполнение целевого предназначения ИУС.

Таблица 3.8 – Матрица целей ИУС $\boldsymbol{Y}_A$

| | $A_1$ | $A_2$ | $A_3$ | $A_4$ | | $A_a$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| $A_1$ | 1 | 0 | 0 | 0 | … | 0 |
| $A_2$ | 0 | 1 | 0 | 0 | … | 0 |
| $A_3$ | 0 | 0 | 1 | 0 | … | 0 |
| $A_4$ | 0 | 0 | 0 | 1 | … | 0 |
| … | … | … | … | … | … | … |
| $A_a$ | 0 | 0 | 0 | 0 | … | 1 |

2) $\boldsymbol{Y}_T=\{y_{Fi,j}\}$, $i$=1, …, $n$, $j$=1, …, $n$, где $n$ – общее количество требований, предъявляемых к системе, – диагональная матрица требований, предъявляемых к системе (табл. 3.9). Данная матрица характеризует перечень требований, предъявляемых к системе и их количество. Выполнение всех требований, представленных в данной матрице, характеризует выполнение всех функций, задач, готовность ресурсов к использованию, а также выполнение целевого предназначения ИУС.

Таблица 3.9 – Матрица требований ИУС $\boldsymbol{Y}_T$

| | $T_1$ | $T_2$ | $T_3$ | $T_4$ | | $T_n$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| $T_1$ | 1 | 0 | 0 | 0 | … | 0 |
| $T_2$ | 0 | 1 | 0 | 0 | … | 0 |
| $T_3$ | 0 | 0 | 1 | 0 | … | 0 |
| $T_4$ | 0 | 0 | 0 | 1 | … | 0 |
| … | … | … | … | … | … | … |
| $T_n$ | 0 | 0 | 0 | 0 | … | 1 |

3) $\boldsymbol{Y}_F=\{y_{Fi,j}\}$, $i$=1, …, $c$, $j$=1, …, $c$ где $c$ – общее количество функций выполняемых системой, – диагональная матрица функций системы (табл. 3.10). Данная матрица характеризует наличие и количество функций в ИУС.

Таблица 3.10 – Матрица функций ИУС $\boldsymbol{Y}_F$

| | $F_1$ | $F_2$ | $F_3$ | $F_4$ | | $F_c$ | $\sum$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $F_1$ | 1 | 1 | 0 | 0 | … | 0 | 10 |
| $F_2$ | 0 | 1 | 1 | 1 | … | 0 | 5 |
| $F_3$ | 0 | 0 | 1 | 0 | … | 0 | 8 |
| $F_4$ | 0 | 1 | 1 | 1 | … | 0 | 4 |
| … | … | … | … | … | … | … | … |
| $F_c$ | 0 | 0 | 0 | 1 | … | 1 | 3 |

4) $\boldsymbol{Y}_Z=\{y_{Zi,j}\}$, $i$=1, …, $d$, $j$=1, …, $d$, где $d$ – общее количество задач решаемых в системе, – диагональная матрица задач системы (табл. 3.11). Данная матрица характеризует наличие и количество задач, которые могут решаться в системе. Выполнение всех задач данной матрицы, характеризует выполнение функций ИУС.

Таблица 3.11 – Матрица задач ИУС $\boldsymbol{Y}_Z$

| | $Z_1$ | $Z_2$ | $Z_3$ | $Z_4$ | | $Z_d$ | $\sum$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $Z_1$ | 1 | 1 | 0 | 0 | … | 0 | 10 |
| $Z_2$ | 0 | 1 | 1 | 1 | … | 0 | 5 |
| $Z_3$ | 0 | 0 | 1 | 0 | … | 0 | 8 |
| $Z_4$ | 0 | 1 | 1 | 1 | … | 0 | 4 |
| … | … | … | … | … | … | … | … |
| $Z_d$ | 0 | 0 | 0 | 1 | … | 1 | 3 |

5) $\boldsymbol{Y}_E=\{y_{Ei,j}\}$, $i$=1, …, $m$, $j$=1, …, $m$, где $m$ – общее количество ресурсов системы, – диагональная матрица ресурсов системы (табл. 3.12). Данная матрица характеризует наличие и количество ресурсов в ИУС.

Таблица 3.12 – Матрица ресурсов ИУС $\boldsymbol{Y}_E$

| | $E_1$ | $E_2$ | $E_3$ | $E_4$ | | $E_m$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| $E_1$ | 1 | 0 | 0 | 0 | … | 0 |
| $E_2$ | 0 | 1 | 0 | 0 | … | 0 |
| $E_3$ | 0 | 0 | 1 | 0 | … | 0 |
| $E_4$ | 0 | 0 | 0 | 1 | … | 0 |
| … | … | … | … | … | … | … |
| $E_m$ | 0 | 0 | 0 | 0 | … | 1 |

6) Для определения совмещения структурной и функциональных характеристик ИУС формируется матрица $\boldsymbol{Y}_{X\text{-}E}=\{y_{i,j}\}$, $i$=1, …, $X$, $j$=1, …, $m$, – матрица соответствия элементов системы (узлов связи) ресурсам, находящимся на них (табл. 3.13).

Таблица 3.13 – Матрица соответствия элементов ИУС ресурсам $\boldsymbol{Y}_{X\text{-}E}$

| | $E_1$ | $E_2$ | $E_3$ | $E_4$ | | $E_m$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| X1 | 1 | 0 | 0 | 0 | … | 0 |
| X2 | 0 | 1 | 0 | 0 | … | 0 |
| X3 | 0 | 0 | 1 | 0 | … | 0 |
| X4 | 0 | 0 | 0 | 1 | … | 0 |
| X5 | 0 | 1 | 0 | 0 | … | 0 |
| X6 | 0 | 0 | 0 | 0 | … | 1 |
| X7 | 0 | 1 | 0 | 0 | … | 0 |
| X8 | 0 | 0 | 1 | 0 | … | 0 |
| X9 | 0 | 0 | 0 | 1 | … | 0 |
| X10 | 0 | 1 | 0 | 0 | … | 0 |

Представленная матрица учитывает весь возможный перечень ресурсов, которые элемент системы могут ей предоставить.

Множество всех ресурсов всех элементов, формирует множество ресурсов системы и описывает ее возможности по выполнению требуемого предназначения. Описание процесса функционирования системы для достижения требуемого целевого предназначения должно основываться на матрицах потребностей системы, описывающих элементы системы и тот ресурс, который ей необходим для выполнения целей, функций, задач:

9) $\boldsymbol{Y}_{Z\text{-}E}=\{y_{Zi,j}\}$, $i$=1, …, $d$, $j$=1, …, $m$, – матрица соответствия ресурсов системы ее задачам (табл. 3.14). Данная матрица характеризует способность системы за счет использования определенного ограниченного набора ресурсов выполнить ограниченный

набор задач системы.

Таблица 3.14 – Матрица соответствия ресурсов системы ее задачам $\boldsymbol{Y}_{Z\text{-}E}$

| | $E_1$ | $E_2$ | $E_3$ | $E_4$ | | $E_m$ | $\sum$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $Z_1$ | 1 | 1 | 0 | 0 | … | 0 | 10 |
| $Z_2$ | 0 | 1 | 1 | 1 | … | 0 | 5 |
| $Z_3$ | 0 | 0 | 1 | 0 | … | 0 | 8 |
| $Z_4$ | 0 | 1 | 1 | 1 | … | 0 | 4 |
| … | … | … | … | … | … | … | … |
| $Z_d$ | 0 | 0 | 0 | 1 | … | 1 | 3 |

8) $\boldsymbol{Y}_{F\text{-}Z}=\{y_{Fi,j}\}$, $i=1, \ldots, c$, $j=1, \ldots, d$, – матрица соответствия задач системы ее функциям (табл. 3.15). Данная матрица характеризует способность системы за счет выполнения определенного ограниченного набора задач выполнить ограниченный набор функций системы.

Таблица 3.15 – Матрица соответствия задач системы ее функциям $\boldsymbol{Y}_{F\text{-}Z}$

| | $Z_1$ | $Z_2$ | $Z_3$ | $Z_4$ | | $Z_d$ | $\sum$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $F_1$ | 1 | 1 | 0 | 0 | … | 0 | 10 |
| $F_2$ | 0 | 1 | 1 | 1 | … | 0 | 5 |
| $F_3$ | 0 | 0 | 1 | 0 | … | 0 | 8 |
| $F_4$ | 0 | 1 | 1 | 1 | … | 0 | 4 |
| … | … | … | … | … | … | … | … |
| $F_c$ | 0 | 0 | 0 | 1 | … | 1 | 3 |

7) $\boldsymbol{Y}_{A\text{-}F}=\{y_{Ai,j}\}$, $i=1, \ldots, a$, $j=1, \ldots, c$, – матрица соответствия функций системы ее целям (табл. 3.16). Данная матрица характеризует способность системы за счет выполнения определенного ограниченного набора функций выполнить ограниченный набор целей системы.

Таблица 3.16 – Матрица соответствия функций системы ее целям $\boldsymbol{Y}_{A\text{-}F}$

| | $F_1$ | $F_2$ | $F_3$ | $F_4$ | | $F_c$ | $\sum$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $A_1$ | 1 | 1 | 0 | 0 | … | 0 | 10 |
| $A_2$ | 0 | 1 | 1 | 1 | … | 0 | 5 |
| $A_3$ | 0 | 0 | 1 | 0 | … | 0 | 8 |
| $A_4$ | 0 | 1 | 1 | 1 | … | 0 | 4 |
| … | … | … | … | … | … | … | … |
| $A_a$ | 0 | 0 | 0 | 1 | … | 1 | 3 |

10) $\boldsymbol{Y}_{A\text{-}T}=\{y_{Ai,j}\}$, $i=1, \ldots, a$, $j=1, \ldots, n$, – матрица соответствия требований системы ее целям (табл. 3.17). Данная матрица характеризует способность системы выполнять цели системы с определенными требованиями, предъявляемыми к ним. Выполнение требований,

предъявляемых к системы, характеризует качество и эффективность функционирования ИУС.

Таблица 3.17 – Матрица требований системы ее целям $\boldsymbol{Y}_{A\text{-}T}$

| | $T_1$ | $T_2$ | $T_3$ | $T_4$ | | $T_n$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| $A_1$ | 1 | 0 | 0 | 0 | … | 0 |
| $A_2$ | 0 | 1 | 0 | 0 | … | 0 |
| $A_3$ | 0 | 0 | 1 | 0 | … | 0 |
| $A_4$ | 0 | 0 | 0 | 1 | … | 0 |
| … | … | … | … | … | … | … |
| $A_a$ | 0 | 0 | 0 | 0 | … | 1 |

11) $\boldsymbol{Y}_{F\text{-}T}=\{y_{Fi,j}\}$, $i$=1, …, $n$, $j$=1, …, $n$, – матрица соответствия функций системы требованиям, которые к ним предъявляются (табл. 3.18). Данная матрица характеризует способность системы выполнять свои функции с определенными требованиями, предъявляемыми к ним. Выполнение требований, предъявляемых к функциям, характеризует качество и эффективность их выполнения.

Таблица 3.18 – Матрица соответствия функций системы предъявляемым к ним требованиям $\boldsymbol{Y}_{F\text{-}T}$

| | $T_1$ | $T_2$ | $T_3$ | $T_4$ | | $T_n$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| $F_1$ | 1 | 0 | 0 | 0 | … | 0 |
| $F_2$ | 0 | 1 | 0 | 0 | … | 0 |
| $F_3$ | 0 | 0 | 1 | 0 | … | 0 |
| $F_4$ | 0 | 0 | 0 | 1 | … | 0 |
| … | … | … | … | … | … | … |
| $F_c$ | 0 | 0 | 0 | 0 | … | 1 |

12) $\boldsymbol{Y}_{Z\text{-}T}=\{y_{Zi,j}\}$, $i$=1, …, $d$, $j$=1, …, $n$, – матрица соответствия задач системы, предъявляемым к ним требованиям (табл. 3.19). Данная матрица характеризует способность системы выполнять свои задачи с определенными требованиями, предъявляемыми к ним. Выполнение требований, предъявляемых к задачам, характеризует качество и эффективность их выполнения.

Таблица 3.19 – Матрица соответствия задач системы предъявляемым к ним требованиям $\boldsymbol{Y}_{Z\text{-}T}$

| | $T_1$ | $T_2$ | $T_3$ | $T_4$ | | $T_n$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| $Z_1$ | 1 | 0 | 0 | 0 | … | 0 |
| $Z_2$ | 0 | 1 | 0 | 0 | … | 0 |
| $Z_3$ | 0 | 0 | 1 | 0 | … | 0 |
| $Z_4$ | 0 | 0 | 0 | 1 | … | 0 |
| … | … | … | … | … | … | … |
| $Z_d$ | 0 | 0 | 0 | 0 | … | 1 |

13) $\boldsymbol{Y}_{E\text{-}T}=\{y_{Zij}\}$, $i$=1, …, $d$, $j$=1, …, $n$, – матрица соответствия ресурсов системы, предъявляемым к ним требованиям (табл. 3.20). Данная матрица характеризует способность системы использовать свои ресурсы при выполнении определенных требований, предъявляемых к ним. Выполнение требований, предъявляемых к ресурсам системы, характеризует возможность, качество и эффективность их применения для выполнения задач.

Таблица 3.20 – Матрица соответствия ресурсов системы предъявляемым к ним требованиям $\boldsymbol{Y}_{E\text{-}T}$

| | $T_1$ | $T_2$ | $T_3$ | $T_4$ | | $T_n$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| $E_1$ | 1 | 0 | 0 | 0 | … | 0 |
| $E_2$ | 0 | 1 | 0 | 0 | … | 0 |
| $E_3$ | 0 | 0 | 1 | 0 | … | 0 |
| $E_4$ | 0 | 0 | 0 | 1 | … | 0 |
| … | … | … | … | … | … | … |
| $E_m$ | 0 | 0 | 0 | 0 | … | 1 |

Все описанные выше матрицы графо-матричной модели содержат или непосредственно исходные данные, или те же исходные данные, но преобразованные к виду, удобному для дальнейших расчетов.

Возможности ИУС по выполнению целей, функций и задач, предоставлению ресурсов для функционирования системы и ее элементов, а также перечень необходимых требований, которые должны быть выполнены в процессе построения и функционирования системы и ее элементов, исходя из матриц, описываемых таблицами 3.8-3.12, определяются следующими коэффициентами:

$$\begin{aligned} K_A &= \sum |Y_A|; \\ K_T &= \sum |Y_T|; \\ K_F &= \sum |Y_F|; \\ K_Z &= \sum |Y_Z|; \\ K_E &= \sum |Y_E|. \end{aligned} \qquad (3.1)$$

Выполнение каждых задачи, функции и цели возможно при соблюдении требований, предъявляемых к ним. Кроме этого, ресурсы системы, которые используются для выполнения задач, функций и целей системы также должны соответствовать определенным требованиям. Общее количество требований, которые необходимо выполнить для каждых ресурса, задачи, функции и цели, исходя из матриц, описываемых таблицами 3.16-3.19, определяются следующими коэффициентами:

$$K_{A-T}=\sum|Y_{A-T}|;$$
$$K_{F-T}=\sum|Y_{F-T}|;\qquad(3.2)$$
$$K_{Z-T}=\sum|Y_{Z-T}|;$$
$$K_{E-T}=\sum|Y_{E-T}|.$$

Определение перечня ресурсов необходимых для выполнения каждой задачи, задач для выполнения каждой функции, функций для выполнения каждой цели при условии выполнения требований, предъявляемых к ИУС, выполняемым ею задачам, функциям и целям.

**Показатели структурной и функциональной устойчивости ИУС АН**

Оценка частных показателей структурной устойчивости ИУС, отдельных информационных направлений и элементов системы может осуществляться с использованием известных точных и приближенных методов оценки живучести и надежности системы [26, 227]. С ростом количество элементов в системе, усложнением ее структуры процедура расчета сильно усложняется, либо получаемые результаты расчета имеют приближенное значение, что не всегда приемлемо. Обусловлено это, в первую очередь, тем что используемые методы, как правило, являются переборными и основанными на формировании различных вариантов прохождения информации (задействования элементов) с последующим выполнением над ними определенных математических (арифметических) или логических операций. Метод полного перебора является наиболее простым и трудоемким, особенно при рассмотрении системы с большим количеством элементов. Использование методов, включающих теоремы разложения и преобразования булевой алгебры требует меньших вычислительных затрат. В качестве наиболее эффективного метода в [26] предлагается корреляционный метод, дополнительным достоинством которого является возможность вычисления условных вероятностей исправности каждого пути и оценки влияния обходных путей на величину оцениваемого показателя устойчивости. Не смотря на отмеченные достоинства корреляционного метода, он редко используется на практике из-за сложной для программной реализации логики промежуточных преобразований и сложности дополнительного учета различных особенностей современных пакетных сетей.

Использование для оценки устойчивости ИУС метода прямого перебора путей позволяет учитывать дополнительные ограничений, например, число переприёмов, частично проложенных маршрутов по разным критериям и др. [326].

Метод прямого перебора сводится к выбору двух узлов сети (графа), и поиска всех возможных вариантов перехода из первого узла во второй. Граф будет связным, а сеть (система) структурно устойчивой, если в рабочем состоянии существует, хотя бы один путь

перехода из первой вершины во вторую, иначе он будет несвязным. После на графе выделяют все простые пути$\{\mu_{i,j}\}$ между парой полюсов (узлов) $x_i$ и $x_j$.

Под связностью $p_{i,j}^{(k)}$ $k$-го пути $\mu_{i,j}^{(k)}$ из перечня всех путей $\mu_{i,j}$ будем понимать совместную вероятность исправного состояния всех ребер и вершин, образующих этот путь [324]:

$$p_{i,j}^{(k)} = \prod_{\forall x \in \mu_{i,j}^{(k)}} p_x, \tag{3.3}$$

где $p_x$– коэффициент готовности $i$-го элемента последовательности ребер и вершин, принадлежащих пути $\mu_{i,j}^{(k)}$.

Вероятность связности $p_{i,j}$ между двумя узлами (вершинами графа) $x_i$ и $x_j$ – это вероятность исправного состояния хотя бы одного пути из всех возможных или, при ограничении числа транзитных участков $r_{\max}$, хотя бы одного пути с допустимым рангом $r_{\max}$:

$$p_{i,j} = 1 - \prod_{\forall \mu_{i,j}^{(k)} \in m_{i,j}} \left(1 - p_{i,j}^{(k)}\right). \tag{3.4}$$

Рассматривая реальные системы, а также представленный граф (рис. 3.23) системы (сети) видно, что для большинства вершин формируемые пути перехода из одной вершины в другую пересекаются или являются взаимозависимыми, что может приводить к завышению значения получаемой вероятности связности. Данное обстоятельство необходимо учитывать при расчете вероятности сохранения связности между двумя элементами сети. Необходимо обеспечить отсутствие многократного использования коэффициента готовности элемента системы, для чего в (3.4) после раскрытия скобок все члены, имеющие показатели степени больше единицы, заменить на единицу. Для этого воспользуемся поглощением событий ($E$), а выражение (3.4) примет вид [324]:

$$p_{i,j} = E\left\{1 - \prod_{\forall \mu_{i,j}^{(k)} \in m_{i,j}} \left(1 - p_{i,j}^{(k)}\right)\right\}. \tag{3.5}$$

Для расчета связности по формуле (3.5) необходимо знать состав маршрута. В этом случае последовательность использования элементов на каждом маршруте не имеет значения, что упрощает процедуру работы с данными о системе.

Рассматривая функциональную устойчивость необходимо определение набора задач, функций, целей системы, предъявляемых к ним требований, а также перечня элементов системы, в том числе, расположенных на элементах ИУС, и участвующих в выполнении задач, функций, целей, т.е. предоставляющие ресурсы для их выполнения.

По аналогии с оценкой структурной устойчивости вероятность выполнения задачи

будет определяться следующим выражение:

$$p_{Z_{d,E}} = \prod_{\forall E \in \mu_{d,E}^{(l)}} p_E, \tag{3.6}$$

где $p_E$ – вероятность того, что $E_m$-й ресурс системы может быть использован для выполнения $d$-й задачи для $\mu_{d,E}^{(l)}$-го сценария ее выполнения.

В зависимости от количества ресурсов системы и условий их функционирования будет определяться вероятность выполнения той или иной задачи. Вероятно, что нарушение функционирования ресурсов системы (их непредставления для выполнения задач) приведет к невыполнению, снижению качества выполнения таких задач, а также функций, целей и целевого предназначения. Рассматривая систему (сеть), состоящую из ограниченного количества элементов, либо задачу, выполнение которой обеспечивается ограниченным количеством ресурсов, процесс функционирования и его нарушения является случайными величинами, обусловленными случайным воздействием ДФ.

Если в процессе выполнения задачи осуществляется задействование определенного набора ресурсов, то устойчивость функционирования системы (сети), обусловленная выполнением данной задачи (набора задач) будет обеспечиваться, если суммарное время задействования каждого ресурса, не превысить время, когда имеется гарантированная возможность его использования, поэтому требуется определить вероятность использования каждого ресурса, необходимого для выполнения задачи (сценариев выполнения задачи).

Математическое ожидание задействования ресурса для выполнения задачи описывается неравенством:

$$M_\tau = \tau(t) = \sum_{k=1}^{m} \tau_k(t) \le \tau_{треб}. \tag{3.7}$$

где $m$ – количество случаев задействования ресурса для выполнения задачи, $\tau_k$ – продолжительность задействования $k$-го ресурса для выполнения задачи, $\tau_{\text{треб}}$ – предельное время возможности нарушения выполнения задачи (не предоставления ресурса).

При случайном характере действия ДФ устойчивость выполнения задачи будет обуславливаться возможностью системы противодействовать воздействию таким факторам, что эквивалентно отношению

$$\tau_k(t) \le \tau_{треб}, k \in \{1,2,..., m(t)\},$$

$m(t)$ - число воздействий ДФ, влияющих на выполнение задачи.

При нарушении выполнения задачи (невозможности использования ресурса), обусловленном случайным воздействием ДФ на систему (сеть), модель нарушения выполнения задачи приставляет собой воздействие на ресурсы системы (сети), используемые для выполнения задачи в моменты времени выполнения такой задачи. Это

можно представить, так, что каждое воздействие на ресурсы системы может приводит к ухудшению качества выполнения данной задачи и может быть представлено как

$$\delta_k = K_{треб}\tau_k(t_k),$$

где $K_{\text{треб}}$ – коэффициент, описывающий скорость нарушения функционирования каждого ресурса, участвующего в выполнении задачи, $\tau_k(t_k)$ – случайные интервалы воздействия ДФ.

Если предположить, что ресурсы системы теряют свои качества, характеризующие их функционирование, то устойчивость выполнения задачи может быть представлена накопленными в элементах системы (сети) повреждениях за определенный интервал времени:

$$\Delta = \sum_{i=1}^{m}\delta_i = K_{треб}\sum_{i=1}^{m}\tau_i(t_i).$$

В соответствии с центральной предельной теоремой теории вероятностей сумма $m$ случайных величин $X_i$ ($i$ = 1, 2, …, $m$) при достаточно большом $m$ приближенно распределена по нормальному закону.

В независимости от закона распределения $\tau$ ($t$) и нарушений выполнения задач и функций, обусловленных различными ДФ, суммарная величина таких нарушений и суммарное время воздействия будут распределены по нормальному закону при достаточно больших $m$ (уже более 4).

Пусть математическое ожидание числа в случае воздействия ДФ M[$m$] и математическое ожидание величины суммарного времени использования ресурсов M[$\tau$] можно выразить как:

$$\text{M}[m] = t / \text{M}_\tau,\ \text{M}[\tau] = t\text{M}_\Delta / \text{M}_\tau, \qquad (3.8)$$

где $\text{M}_\tau$ – математическое ожидание интервала времени между воздействиями ДФ, влияющих на возможность использования ресурсов и на выполнение задачи, $\text{M}_\Delta$ – математическое ожидание величины вызванного этими факторами нарушений выполнения задачи, $t$ – время выполнения задействования ресурсов для выполнения задачи.

Дисперсия величины нарушений и воздействий будут определяться как

$$D[m]_\tau \approx \frac{t^2}{M_\tau^4}D_\tau,\ D[\tau] = \left(\frac{\partial M[\tau]}{\partial M_\Delta}\right)D_\Delta + \left(\frac{\partial M[\tau]}{\partial M_\tau}\right)D_\tau \approx \frac{t^2}{M_\tau^2}M_\Delta^2\left(\frac{D_\tau}{M_\tau^2} + \frac{D_\Delta}{M_\Delta^2}\right). \qquad (3.9)$$

где $D_\tau, D_\Delta$ – дисперсия случайных величин интервалов времени между действиями ДФ на задачи (на возможность использования ресурса) и вызванных ими нарушений.

При решении практических задач используют выражения:

$$\overline{M_\tau} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\tau_i;$$

$$\overline{M_\Delta} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\tau_i(t);$$

$$\overline{D_\tau} = \frac{1}{n-1}\sum_{i=1}^{n}(\tau_i - \overline{M_\tau})^2;$$

$$\overline{D_\Delta} = \frac{1}{n-1}\sum_{i=1}^{n}(\tau_i - \overline{M_\Delta})^2.$$

Таким образом, показателем оценки процесса использования ресурса для выполнения задачи можно рассмотреть вероятность использования ресурса в моменты времени, когда он задействуется для выполнения той или иной задачи в системе:

$$p_E = F[\tau(t) \le \tau_{треб}]. \quad (3.10)$$

Для оценки можно использовать вероятность невозможности использования ресурса для выполнения задачи:

$$q_E = 1 - p_E = 1 - F[\tau(t) \le \tau_{треб}]. \quad (3.11)$$

Вероятностный показатель определяется с помощью функции Лапласа:

$$p_E = \frac{1}{2} - \Phi_0\left[\frac{M[\tau] - \tau_{треб}}{\sqrt{D[\tau]}}\right],$$

где $\Phi_0(z)$ – функция Лапласа, определяемая из таблицы, $z = \left[\frac{M[\tau] - \tau_{треб}}{\sqrt{D[\tau]}}\right]$ – аргумент функции Лапласа.

Учитывая иерархическое построение модели функционирования системы (сети) и зная вероятностные возможности использования ресурса для определения вероятности выполнения задач, при выполнении которых используются данные ресурсы, а также функций за счет задач, и целей за счет функций, рассмотрим вероятности наступления события выполнения задач, функций, целей.

В зависимости от определенных условий выполнения задач, определяется перечень ресурсов, невозможность использования которых ухудшают качество выполнения задачи, но могут быть не использованы, функций, определяется перечень задач, обязательных и необязательных к выполнению. В общем случае рассматривается обязательное задействование всех необходимых ресурсов для выполнения каждой задачи, выполнение всего перечня задач необходимых для выполнения каждой функции.

Вероятность выполнения *d*-й задачи любым из возможных сценариев задействования ресурсов системы (совокупности ресурсов), предоставляемых ИУС, возможно при выполнении любого из данных сценариев, что можно определить по выражению:

$$p_{Z_{d,E}} = 1 - \prod_{\forall E \in \mu_{d,E}^{(l)}} \left(1 - p_{d,E}^{(l)}\right) \tag{12}$$

Кроме ресурсов системы, которые используются или спланированы для выполнения задач, как правило, в ней имеется определенный резерв. Возможность использование резервов увеличивает вероятность выполнения каждой задачи. Рассмотрим дерево событий (пример для задачи, выполнение которой обеспечивается использованием трех ресурсов системы) (рис. 3.24), характеризующих выполнение задач, функций и целей системы.

Вероятность выполнения задачи в конкретном сценарии будет равна:

$$p_{Z_{d,E}} = 1 - \sum_{j=1}^{m} \sum_{i=1}^{m} \left( \prod_{\forall E \in \mu_{d,E}^{(l)}} \left(1 - p_{d,E}^{(l)}\right)_i + \prod_{\forall E \in \mu_{d,E}^{(l)}} \left(1 - p_{d,E}^{(l)}\right)_i \left(p_{d,E}^{(l)}\right)_j \right), \tag{3.13}$$

где $i$ – характеризует количество ресурсов, задействованных для выполнения $d$-й задачи при рассмотрении $\mu_{d,E}^{(l)}$-го сценария задействования ресурсов для ее выполнения, где $j$ – характеризует количество ресурсов, находящихся в резерве, которые могут быть задействованы для выполнения $d$-й задачи при рассмотрении $\mu_{d,E}^{(l)}$-го сценария задействования ресурсов для ее выполнения.

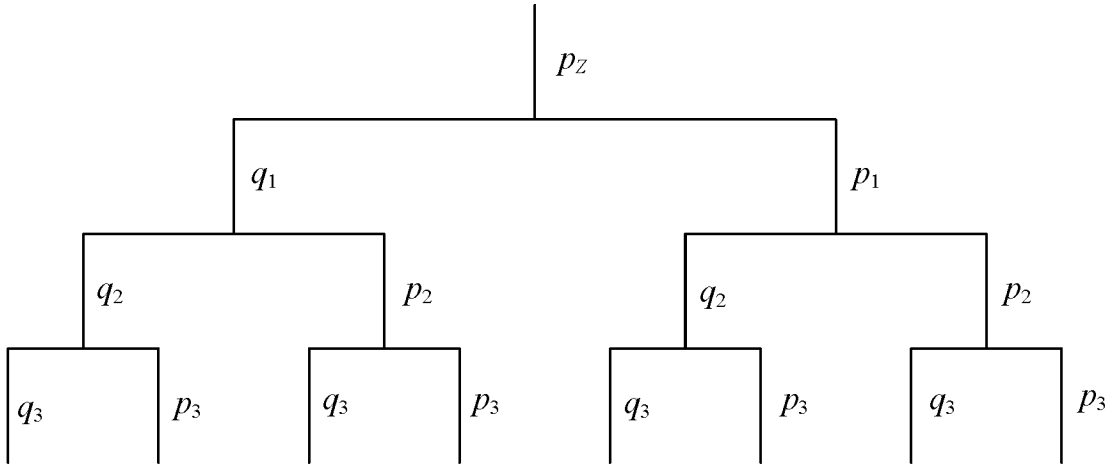



Рисунок 3.24 – Дерево событий, характеризующее вероятность выполнение $d$-й задачи

Определяя функциональную устойчивость ИУС, как способность выполнить определенный конечный набор задач системы существующей структурой системы, можно рассчитать вероятность обеспечения функциональной устойчивости, как

$$p_{фу} = 1 - \prod_{\substack{\forall E \in \mu_{d,E}^{(l)} \\ \forall \mu_{i,j}^{(k)} \in m_{i,j}}} \left(1 - p_{i,j}^{(k)}\right)\left(1 - p_{Z_{d,E}}^{(l)}\right) \tag{3.14}$$

**Модель воздействия ДФ на ИУС**

Для описания способности элементов системы противостоять воздействию различных

дестабилизирующих факторов разработана модель воздействия ДФ на ИУС. Процесс воздействия можно представить в виде модели многофазной (многозвенной) системы массового обслуживания (СМО) с ограниченной суммарной производительностью μ, на вход которой поступают данные, характеризующие воздействия ДФ с интенсивностью λ.

Предположим, что интенсивность обслуживания элементов ИУС μ значительно превышает с интенсивность воздействия ДФ λ, тогда рассматриваемая модель воздействия будет представлять собой СМО с отказами, но с возможностью повторного обслуживания потерянных заявок. Выбор заявок на воздействие ДФ на элементы ИУС, независимо от природы таких воздействий, можно считать случайной величиной. При этом, при преднамеренном воздействии выбор объекта воздействия осуществляется исходя из информации о нем, которая с течением времени может меняться из-за использования различных средств маскировки, скрытия действий, изменения нагрузки на него и т.д.

В работе предлагается процесс воздействия ДФ на ИУС свести к функции распределения времени использования ее ресурса (выполнения задачи, функции, цели) $T_{\text{ф}}$ до момента их нарушения (невозможности использования) $\Psi(T_{\text{фТ}}) = p(T_{\text{ф}} \le T_{\text{фТ}})$, где $T_{\text{фТ}}$ – аргумент функции распределения, который можно трактовать как требуемое время, когда используется ресурс, выполняется задача, функция. При этом рассматриваются не только факты воздействия ДФ, приводящие к нарушению функционирования системы и ее элементов (невыполнению требуемых целей, требований, функций и задач), но и возможность воздействия, которое так же может нарушать процесс ее функционирования.

Оценка функциональной устойчивости ресурса, который используется для выполнения задачи, будет проводиться с помощью коэффициента готовности. Система функционирует в условиях воздействия ДФ, для описания которых предлагается использовать распределение вероятностей $\Psi(T_{\text{фТ}})$, при известном требуемом времени, когда необходимый ресурс задействован для выполнения целевого предназначения системы $T_{\text{фТ}}$. В этом случае относительное среднее время функционирования ресурса $T_{\text{оф}}$ определяется по выражению [324, 327]

$$T_{\text{оф}} = \frac{\int_0^{T_{\text{фТ}}} T_{\text{ф}} \times d\Psi(T_{\text{ф}})}{T_{\text{фТ}}} + \left(1 - \Psi(T_{\text{фТ}})\right). \qquad (3.15)$$

Если требуемое время функционирования (задействования ресурса, выполнения задачи) $T_{\text{фТ}}$ достаточно мало, то $\Psi(T_{\text{фТ}}) \to 0$ и первым слагаемым в формуле (3.15) можно пренебречь. Тогда $T_{\text{оф}}$ будет соответствовать известному показателю живучести в виде вероятности выживания в течение заданного времени $T_{\text{фТ}}$:

$$T_{\text{оф}} \approx \left(1 - \Psi\left(T_{\text{фТ}}\right)\right) = 1 - p\left(T_{\text{ф}} \le T_{\text{фТ}}\right) = p\left(T_{\text{ф}} > T_{\text{фТ}}\right). \tag{3.16}$$

Если требуемое время функционирования $T_{\text{фТ}}$ достаточно велико, то $\Psi(T_{\text{фТ}}) \to 1$ и вторым слагаемым в формуле (3.15) можно пренебречь. Тогда $T_{\text{оф}}$ будет соответствовать известному показателю живучести в виде относительного среднего времени выживания:

$$T_{\text{оф}} = \frac{\int_0^{\infty} T_{\text{ф}} \times d\Psi\left(T_{\text{ф}}\right)}{T_{\text{фТ}}} = \frac{T_{\text{ф ср}}}{T_{\text{фТ}}}. \tag{3.17}$$

Заметим, что частный показатель устойчивости $T_{\text{оф}}$, вычисляемый по формуле (3.17), не зависит от конкретного вида функции распределения времени функционирования до момента воздействия ДФ $\Psi(T_{\text{фТ}})$, а определяется только его математическим ожиданием $T_{\text{ф.ср}}$, которое соответствует условной интенсивности $\mu_{\text{ДФ}} = 1/ T_{\text{ф.ср}}$ воздействия ДФ на данный элемент ИУС (ее ресурс).

Если функция распределения $\Psi(T_{\text{фТ}})$ является выпукло-вогнутой, то правильное управление временем функционирования системы, обусловленным, в том числе, результативном воздействие различных ДФ на нее может приводить к возможности управления устойчивостью и обеспечением ее требуемого уровня. Это показывает, что состояние системы, ее элементов, а также обстановка в которой осуществляется ее функционирование могут значительно влиять на устойчивость ИУС (3.15), как показано в [227].

Представленный в [327] материал, характеризует возможности использования формулы (3.17) для оценки устойчивости.

Воздействие ДФ на систему и ее элементы редко осуществляется постоянно, как правило, оно носит сеансовый характер. Такие воздействия могут приводить к сбоям функционирования системы и ее элементов, в этом случае для оценки устойчивости периодического воздействия на систему используется выражение (3.16). Величина $T_{\text{оф}}$, определяемая по выражению (3.17), будет эквивалентна относительной величине обслуженного трафика при средней длительности активного функционирования, зависящей от периодичности задействования ресурсов (управления ими) для выполнения задач. При этом в числителе среднее время выполнения задачи соответствует времени задействования ресурса для ее выполнения $T_{\text{ф.ср}} \to T_{\text{фА}}$.

Показатель устойчивости рассматриваемого ресурса системы $T_{\text{оф}}$, выступающий в роли его коэффициента готовности, зависит от суммарного времени его задействования для выполнения задач системы $T_{\text{фА}}$ следующим образом:

$$p(T_{\text{фА}}) = \frac{T_{\text{фА}} \times \rho(T_{\text{фА}})}{T_{\text{фТ}}}, \tag{18}$$

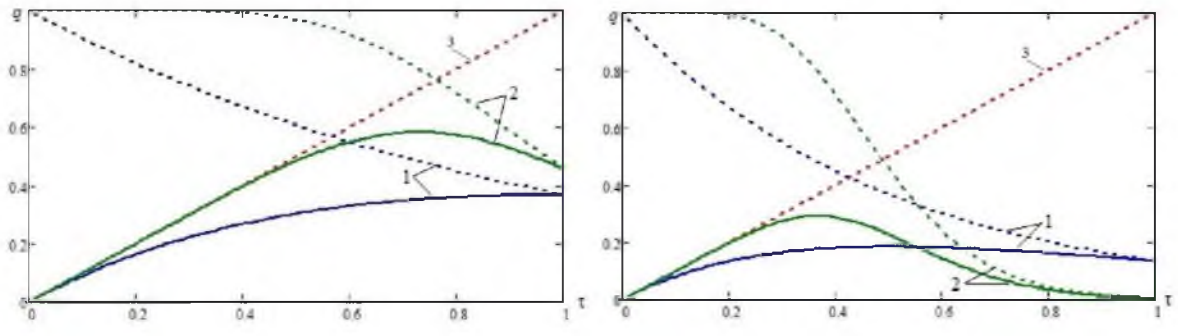
где $\rho(T_{\text{фА}}) = 1 - \Psi(T_{\text{фА}})$ – вероятность наличия возможности использования ресурса для выполнения задач в течении времени ее выполнения $T_{\text{фА}}$.

С ростом количества времени задействования ресурса системы для выполнения задач величина $T_{\text{фА}}$ растет, а значение величины $\rho(T_{\text{фА}})$ уменьшается. Рассмотрим два варианта функцийρ($T_{\text{ФА}}$) – с выпуклой зависимостью от времени $T_{\text{фА}}$ и с выпукло-вогнутой зависимостью. Для варианта выпуклой зависимости выберем экспоненциальное распределение, характерное для однофазных СМО, а в качестве вогнутой – эрланговское распределение, характерное для многофазных СМО с экспоненциальным распределением задержки на каждой фазе (этапе) обслуживания:

$$\rho(T_{\text{фА}}) = \exp(-\mu_{ДФ} \times T_{\text{фА}}), \tag{19}$$

$$\rho(T_{\text{фА}}) = \sum_{i=0}^{r-1} \left[ \exp(-k \times \mu_{\text{ДФ}} \times T_{\text{фА}}) \times \frac{(-k \times \mu_{\text{ДФ}} \times T_{\text{фА}})^r}{r!} \right]. \tag{20}$$

Используя выражение (3.18) получены зависимости частного показателя устойчивости $q(\tau)$ отдельного технического ресурса системы от относительного времени его задействования для выполнения функций и задач системы $\tau = T_{\text{ФА}}/T_{\text{ФТ}}$ при двух различных функциях распределения времени реакции СУ на устойчивость системы (рис. 6) (линия 1 – экспоненциальное распределение, линия 2 – распределение Эрланга с параметром $k$=10) с двумя различными значениями производительности $\mu_{\text{ДФ}}$, нормированной по отношению к времени функционирования $T_{\text{ФТ}}$ (т.е. при $\mu_{\text{ДФ}}$ =1, среднее время обслуживания равно $T_{\text{ФТ}}$).




*а)* $\mu_{\text{ДФ}}$=1 *б)* $\mu_{\text{ДФ}}$=2

Рис. 3.25 – Зависимости частного показателя функциональной устойчивости q ресурса системы от относительного времени его задействования для выполнения функций и задач системы τ

Полученные по выражениям (3.19), (3.20) графики зависимости вероятностей выполнения ресурсом заданного функционала в условиях воздействия ДФ от времени функционирования, представлены на рисунке 3.25 в виде нелинейно убывающих пунктирных линий 1 и 2. Линейно возрастающая пунктирная линия 3 характеризует долю времени задействования $T_{ФА}$ ресурса системы, когда он используется для выполнения функций и задач, от общего времени его функционирования $T_{ФТ}$. На рисунке 3.25 сплошными линиями показан совместный учет времени задействования ресурса для выполнения задач и функций системы и вероятности функциональной устойчивости в виде частного показателя функциональной устойчивости $q$, рассчитываемого по формуле (3.18).

При экспоненциальном распределении времени реакции ИУС на сбои в использовании ресурса при относительно низкой ее производительности ($\mu_{ДФ}$=1) приводит лишь к снижению частного показателя устойчивости. С увеличение производительности ($\mu_{ДФ}$=2) уменьшение времени использования ресурса до относительной величины $\tau$= 0.5 позволяет незначительно повысить значение показателя функциональной устойчивости на величину 0.049.

При анализе графиков для распределения Эрланга эффект увеличения показателя устойчивости от уменьшения времени задействования ресурса системы более заметен. При $\mu_{ДФ}$ =1 снижение относительного времени задействования ресурса, используемого для выполнения функций и задач системы, до величины $\tau$= 0.73, что позволяет увеличить значение показателя устойчивости на 0.125 с 0.458 до 0.583. При $\mu_{ДФ}$ =2 снижение времени до величины $\tau$= 0.37 позволило увеличить значение показателя устойчивости на 0.286 с 0.005 до 0.291.

Представленные зависимости подтверждают выводы, полученные в [327] о том, что при экспоненциальном распределении времени реакции ИУС активное управление задействованием ресурсов для выполнения задач и функций системы дает малый выигрыш функциональной устойчивости. В то же время при более реальном и часто встречающемся выпукло-вогнутом распределении, каковым является, например, распределение Эрланга, выигрыш для функциональной устойчивости от управления использованием ресурсов системы может быть весьма значительным.

Значение ИУС в различных отраслях промышленности с каждым годом только растет, наряду с этим, увеличивается многообразие ДФ, влияющих на ее функционирование, что определяет важность обеспечения устойчивого функционирования таких систем [328-330]. Традиционные подходы оценки устойчивости, как правило сводятся к оценке живучести, надежности, киберустойчивости или помехоустойчивости системы (сети) [26, 28, 227, 322, 326, 330-332], при этом процесс функционирования и способность системы выполнять задачи, функции, цели не рассматривается, и оценка его не проводится. Вероятностную оценку живучести, надежности, помехоустойчивости и

киберустойчивости хорошо использовать при проектировании и построении системы или для формирования статистики наработки системы на отказ, что не совсем применимо при оценке процесса функционирования системы в режиме реального времени, которая должна быть направлена на обеспечение устойчивого функционирования системы и выполнения ее своего целевого предназначения в условиях изменяющейся обстановки. Возможности системы будут определять ее способность выполнить требуемый перечень задач и функций, а также обеспечить их выполнение при изменении обстановки, нарушении функционирования ее элементов, полном их уничтожении и т.д., в том числе в результате возникновения факта воздействия ДФ на систему и ее элементы.

Разработанная графо-матричная структурно-функциональная модель ИУС, описывающая процесс функционирования самой системы с учетом управления ее в условиях воздействия различных ДФ, позволяет связать структурную составляющую системы с функциональной, количественно определить возможности системы по выполнению имеющимся ресурсом и заданной структурой по выполнению задач, функций, целей системы, а также предоставлению ресурсов для функционирования ИУС. Отличительной особенностью данной модели от известных является возможность совместной оценки структурной-функциональной характеристики системы, что позволяет учитывать особенности ее построения с одной стороны и процесс ее функционирования, т.е. способность ее выполнять определенный набор функций и задач.

Предложенная модель воздействия ДФ на ИУС, учитывающая факт воздействия, приводящий к нарушению функционирования системы, независимо от характера и интенсивности воздействия таких факторов, позволяет определить способность системы предоставлять ресурсы для выполнения задач, выполнения функций, целей системы, а также определить готовность к использованию того или иного ресурса системы в условиях изменяющейся обстановки, что позволит выбрать наиболее устойчивый вариант (сценарий) задействования ресурсов для обеспечения процесса ее функционирования.

Кроме этого, предложенная графо-матричная структурно-функциональная модель ИУС, может быть использована при построении системы для обеспечения выполнения ограниченного объема задач, проверки ее способности выполнить их, а также для контроля их выполнения в условиях воздействия различных ДФ и изменения обстановки функционирования системы.

Дальнейшим направлением исследования является разработка:

метода построения профиля функционирования ИУС, который будет выступать в качестве задания для системы контроля, исходя из потребностей ЛПР.

метода и методик определения (оценки) критичности ИУС и ее элементов в любой

момент времени ее функционирования;

метода, модели и методик контроля функционирования ИУС для обеспечения ее устойчивого функционирования в любых условиях функционирования.

## 3.6 Вывод по Главе 3

1. В основе любой теории лежат закономерности. Анализ подходов к моделированию СТС показал, что для формализации системы необходимо определить взаимосвязь между элементами системы, материальной составляющей – ресурсами, действиями и предназначением системы. Базовая теория, взятая за основу такой формализации рассматривается в работах В.Г. Бурлова. На основе рискоориентированного подхода определяется связь между предназначением ИУС ее ресурсным обеспечением и действиями над ними, позволяющими системе выполнять свое предназначение.

2. Показана необходимость оптимизации использования ресурсов системы при выполнении регламентов. Наряду с этим, определена необходимость с одной стороны разработки методологического аппарата обеспечения ФУ, включающего методы, модели, методики, способы и алгоритмы выполнение которых направлено на обеспечение ФУ, а с другой стороны появления новых, эволюционировано старых систем управления, контроля, поддержки принятия решения, информационных системы позволяющие обеспечить предоставление полной и своевременной информации о состоянии системы органам управления, возможность реализации воздействий направленных на обеспечение ФУ, выполнения функций, задач, регламентов, а также прогнозировать возможность выполнения регламента, влияние нарушения его выполнения на другие регламенты и целевое предназначение системы.

3. Проведен анализ проблемы управления рисками в системы. Своевременное и правильное реагирование на возникающие риски позволит обеспечить ФУ ИУС. Это позволяет рассматривать управление риском, как элемент общесистемного подхода в управлении. Системный подход в управлении рисками рассматривается во взаимовлиянии рисков, явлений и процессов на процесс функционирования системы и достижение ее целевого предназначения.

4. Формализация ИУС в рамках процессного подхода, позволяющего описать обратную связь через управление (реагирование), контроль позволяет в любой момент времени иметь информацию о состоянии системы и происходящих в ней процессах. Формализация ИУС в рамках теории сохранения целостности позволяет определить взаимосвязь между действиями (управлением) системы и ее элементов над ресурсами,

характеризуемых ПВЛ и позволяет определить возможность выполнения целевого предназначения, характеризуемого ЭФС. Инструментом реализации формализации процесса функционирования системы, позволяющей описать процесс контроля и реализации обратной связи является профиль функционирования системы, выступающий в качестве плана. Определение связей между элементами профиля позволяет выявлять критически значимые элементы системы, а также определять ее критическую значимость для системы управления, других систем. Реализация обратной связи осуществляется через предиктивный контроль ИУС, позволяющий не только выявлять и обнаруживать уже наступившие события нарушения функционирования системы и ее элементов, но и прогнозировать изменения в системы в зависимости от меняющейся обстановки и наступления событий, которые могут привести к нарушению устойчивого функционирования системы и ее элементов и не достижению целевого предназначения, снижению ЭФС.

# ГЛАВА 4. ПОДХОД К ОПИСАНИЮ ПРОЦЕССА ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ИУС НА ОСНОВЕ ПРОФИЛЯ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ

Различные технические системы и их элементы давно вошли в нашу повседневную жизнь. Сложность таких систем обусловлена количеством элементов, входящих в ее состав, выполняемых функций и задач. Особое место занимают системы связанные с обработкой информации, такие как информационные системы, системы связи, системы управления, инфотелекоммуникационные и телекоммуникационные системы [202, 333]. Нарушение обмена информацией, отсутствие связи в системе управления, системе обеспечения различных процессов могут привести к тяжелым последствиям. Возникает необходимость обеспечения устойчивого функционирования таких систем и их элементов, при этом, в первую очередь, процесса функционирования, т.е. выполнения системой функций и задач в установленное время [328, 332, 334].

В системах управления используются системы контроля и мониторинга состояния [301, 335-337]. Традиционно контроль и мониторинг системы происходит через контроль и мониторинг ее элементов и осуществляется на всех элементах постоянно, что для сложных технических систем создает определенные трудности, заключающиеся в больших энергетических, материальных и временных затратах на осуществление данных мероприятий, а также не учитывают критичность системы и ее элементов. Кроме этого возникает вопрос оптимальности периодичности контроля состояния системы, а также не учитывает функционального состояния системы. Современные системы контроля направлены на определение работоспособности отдельных элементов системы или их совокупности и не позволяют оценивать процесс и способность выполнения целевого предназначения системы. Требуется разработка инструмента, позволяющего устранить данные недостатки системы контроля [270, 301, 302, 319, 338]. В работе предлагается рассмотреть подход к разработке такого инструмента – профиля функционирования системы.

Под профилем системы будем понимать набор ее взаимосвязанных характеристик, включающий структуру построения системы, ее элементы и технические средства, предназначенные для обеспечения обмена сообщениями и используемые для предоставления услуг ЛПР и ресурсов для выполнения целей, функций и задач системы, характеризующих процесс ее функционирование и ориентированных на выполнение ее

целевого предназначения за счет выделенного (имеющегося) ресурса, при условии соблюдения, предъявляемых к системе требований.

## 4.1. Метод построения профиля функционирования ИУС

Для описания процесса функционирования СТС, такой как ИУС, необходимо построение модели ее функционирования, позволяющей учитывать ее функциональные возможности и взаимосвязи между элементами, а также выявлять критичность и оценивать ее уровень. Такие данные нужны в системе контроля для определения возможности системы в любой момент времени выполнять требуемое целевое предназначение. Кроме этого, модель определяющая связь между функциональным предназначением системы и ее структурой позволит определить потребность системы в оптимальном использовании ресурса, когда для нее разрабатывается профиль функционирования, и она строится с наперед заданным требованием, определяемым целевым предназначением.

Данные потребности определяют существование актуальной научной задачи формализации системы и описания связей между функциональными и структурными элементами системы в виде профиля функционирования системы, который можно использовать в системе контроля для выявления конфликтов и критичности элементов, соотнесения возможностей и потребностей системы в функционировании, а также оптимизации использования ресурсов для выполнения целевого предназначения системы.

При функциональном подходе описания процесса функционирования ИУС определяется через ее функции, такие как планирование, организация, распоряжение, управление, координирование, контроль и т.д. В этом случае каждая функция рассматривается отдельно, без взаимной связи с другими. Стремление развития эффективности каждой функции отдельно приводит к ухудшению функционирования самой системы и, в некоторых случаях, не выполнению ее целей, так как не учитываются связи между функциями. Помимо связей между функциями необходимо учитывать связи между целями системы, ее задачами, требованиями, предъявляемым к ней, а также ресурсами системы. Необходимо определение взаимосвязи между потребностями ЛПР, ресурсном обеспечении системы, процессом ее функционирования и управления ею, для чего можно использовать процессный подход, лежащий в основе рискоринтированных стандартах управления качеством предоставления услуг, процессов в системе.

Процессный подход построен на стратегии Деминга-Шухарта, включающей следующие элементы [257, 269, 270, 339, 340]: планируй, делай, проверяй, воздействуй. Возможность реализации обратной связи в процессе управления системой будет определять

ее эффективность.

Процессный подход является основой содержания международных стандартов, используемых в России на различных предприятиях, серии ИСО. Стандарты определяют процесс риск ориентированного функционирования предприятия целью, которого является повышение качества его процессов, а также продукции и предоставляемых услуг, ориентированных на потребителя. При этом постоянно должна реализовываться обратная связь между производителем и потребителем.

Большинство сложных технических систем, аналогично предприятиям промышленности, реализуют свою деятельность с ориентацией на определенного потребителя, его потребности и задачи, при этом, для всех них неизменным остается требование к устойчивости предоставления определенных услуг, которая зависит, в том числе, от устойчивости функционирования самой системы. Существенным является не устойчивость элементов системы, обусловленная их надежностью и живучестью, а способность гарантированного выполнения функций системы в определенные моменты времени, что требует учета процесса выполнения этих функций.

В основе функционального подхода лежит регулирование последовательности выполнения операций, контроль сроков, качества и ресурсного потребления на выполнение процесса, т.е. выполнения задач системы и ее функций.

Совокупность функционального и процессного подходов позволяет при описании функционирования системы, описывать процессы в ней, учитывая взаимосвязи между целями, требованиями, функциями, задачами, представляющими из себя процессы системы в режиме близком к реальному времени, контролировать эти процессы с ориентацией на возможные риски и реализовывать обратную связь не только между потребителем услуг и системой по их качеству, но и в системе при возникновении рисков или предпосылок к ним по обеспечению устойчивости функционирования системы.

Формализация процесса функционирования ИУС подразумевает построение ее модели, учитывающей все происходящие в ней процессы, влияющие на выполнение задач и функций системы, а также ее целевое предназначение. При этом необходимо учитывать сложность, иерархичность построения систем, взаимосвязи ее элементов, не через объекты системы, а их функциональные возможности.

Для обеспечения процесса функционирования система имеет соответствующий ресурс, при этом он всегда ограничен. Управление ресурсом осуществляется системой управления и позволяет обеспечивать своевременное выполнение функций и задач системы и ее устойчивое функционирование. Несвоевременное или недостаточное обеспечение ресурсами элементов системы, участвующих в реализации функций и выполнении задач

приводит к нарушениям в ней, сбоям и другим последствиям, результатом которых может быть нарушение устойчивости функционирования вышестоящей системы, полный или частичный отказ управления, невозможность выполнения целевого предназначения, экономические, политические репутационные и людские потери, а также возникновение экологических, техногенных катастроф и т.д.

Современные ИУС имеют иерархическую структуры не только в рамках подчиненности элементов системы, но и по своему функциональному предназначению, где можно выделить цель (цели), требования к системе, функции, задачи системы, а также набор пространственно-разнесенных разнородных ресурсов системы. Для ее эффективного функционирования и обеспечения достижения их целевого предназначения возникает необходимость согласования функциональных требований по уровням системы.

Для обеспечения устойчивого функционирования ИУС необходимо создания эффективных механизмов управления, опирающихся не только на использование методов, основанных на анализе, которые не учитывают изменение обстановки и не позволяют при этом своевременно восстанавливать работоспособность системы, но и на использование синтезного подхода. В современных системах для выделения ресурсов необходимо согласование каждого действия (рис. 3.16). Для согласования необходимости выделения ресурсов в системе с ЛПР и обеспечения функциональной устойчивости (ФУ) системы в случае нарушения ее функционирования необходим переход к автоматизации процессов управления, что существенно сократит цикл управления (рис. 3.17).

Основной задачей любой системы должно быть обеспечение ее устойчивого функционирования в соответствии с предъявляемыми к ней требованиями для достижения ее целевого предназначения, для чего она выполняет функции и решает задачи за счет имеющегося ресурса (рис. 3.18).

Отсутствие или неопределенность состояния ресурсов, а также не привязанность их в пространстве и времени к конкретной задаче может привести к не выполнению функции, как следствие не достижению системой своего целевого предназначения или невыполнению требований, предъявляемых к ней. Может возникнуть ситуация, когда система исправна и работоспособна, но не выполняет требуемых задач, функций и целей. Зависимость целей, требований, функций и задач, друг от друга и от ресурсного обеспечения определяют иерархическую структуру системы (рис. 3.20).

В основе построения системы лежит иерархическая древовидная структура, ФУ которой будет определяться совокупностью выполнения необходимого количества функций в процессе ее функционирования, тогда

$$A = \{A_1, A_2, \ldots, A_a\},$$

$$A_1 = \{F, T\},$$

$$F = \{F_1, F_2, \ldots, F_c\},$$

$$T = \{T_1, T_2, \ldots, T_n\},$$

$$F_1 = \{Z_1, Z_2, \ldots, Z_q\}.$$

Каждая задача обеспечивается соответствующим ресурсом системы: $Z_1 = \{E_1, E_2, \ldots, E_m, \mu(t, k)\}$. При этом требования, предъявляемые к каждому более высокому уровню, выполняются, если выполнены требования к нижнему уровню.

Для описания функционирования ИУС необходима формализация процесса функционирования и целевого предназначения системы через цели, требования, функции и задачи, описывающие работу системы в целом. Целевое предназначение ИУС может быть задано в явном или неявном виде. При проектировании, построении и оценки эффективности функционирования системы, выполнения ею заданного регламента акцентируется внимание на выявлении и обеспечении выполнения критически важных процессах, устойчивом функционировани критически важных элементов системы, а также на качестве, полноте и последовательности выполнения.

При таком подходе, для учета динамики функционирования ИУС каждая задача представляется в виде регламента, представляющего собой во времени последовательность действий по использованию ресурса системы для выполнения поставленной задачи.

При таком описании системы, необходимо учитывать влияние на процесс ее функционирования и качество выполняемых ею функций и решаемых задач, характеристик среды, самой системы и различных воздействий на нее.

Функционирования ИУС обеспечивается за счет управления и перераспределения ресурсов системы для решения задач и выполнения функций, при этом возможно:

перераспределение ресурсов после отказа одного или нескольких элементов системы между другими элементами;

вывод в резерв ресурсов после отказа одного или нескольких элементов системы;

изменение последовательности выполнения задач, функций, целей системы;

сокращение количества задач системы, с учетом обеспечения выполнения критически важных.

При этом должно обеспечиваться выполнение требований к системе, а качество процессов в ней оставаться не ниже установленного.

Одной из проблем устойчивого функционирования сложных технических систем является необходимость учитывать воздействие различных факторов на них, а также требования к выполнению задач, функций, целей, регламентов в системе и возможностей по их обеспечению за счет имеющегося ресурса.

Нарушение связности и ухудшение качества функционирования системы не всегда приведет к невыполнению системой своего предназначения. Воздействие различных дестабилизирующих факторов может приводит к невыполнению части задач, некоторых функций, при условии обеспечения требований и целей системы.

К факторам, влияющим на функционирование системы можно отнести: количество элементов системы, целей, функций, задач, регламентов, ресурсов, назначение системы, возможности системы по восстановлению нарушенных функций, постоянство структуры, пространственно-временное распределение элементов системы и т.д.

Разработка подходов по обеспечению устойчивого функционирования сложных систем в режиме времени близком к реальному представляет определенные трудности из-за сложности формализации объекта исследования, динамичности процессов, происходящих в нем, изменяющимися условиями обстановки. Существующие методы динамического управления системами и ее элементами, разнесенными в пространстве и времени, на основе обратной связи сталкиваются с проблемой размерности, что не позволяет своевременно реагировать на изменения состояния системы и ее элементов.

Устойчивость функционирования ИУС и выполнение ее всех функций, позволяющих достигать цель системы, определяется совокупностью выполняемых в системе регламентов, характеризующих задачи системы, поэтому необходимо поддержание обменных процессов в системе на основе анализа выполнения регламентов.

Цели системы, характеризуют ее целевое предназначение и определяются исходя из ее назначения. При рассмотрении регламента системы определяется последовательность выполнения каждой цели начиная с первой и заканчивая последней для данного целевого предназначения, тогда функция выполнения регламента системы имеет вид

$$F_{вып\ рег}(A) = \sum_{i=1}^{a} F_{вып\ рег}(A_i),$$

где $F_{вып\ рег}(A_i) = f(T, F, Z, E)$.

Функции системы, характеризуют выполнение целей системы в условиях обеспечения требований к ней, и представляют собой набор функций, выполнением которых обеспечивается выполнение регламента:

$$F(F) = \sum_{i=1}^{c} F(F_i),$$

где $F(F_i) = f(Z, E)$.

Множество задач описывает необходимое количество действий по использованию ресурсов системы для достижения выполнения регламентов и позволяет переводить

систему и ее элементы из одного состояния в другое, соответствующее установленным требованиям и ограничениям.

Под регламентом (от франц. правило) в ИУС можно понимать правило (набор правил, документ), определяющее последовательность и сроки выполнения действий в системе, обеспечивающих выполнение ею, возложенной на нее функции (функций), решаемых задач, достигаемых целей. При этом регламент должен выполняться на определенном временном интервале и с требуемым (заданным) качеством. Он определяет порядок действия, требуемые ресурсы, требования и необходимый достигаемый результат.

Для определения регламента необходимо

1. Определение требований к системе, ее целевого предназначения, которое характеризуется величиной конечной цели системы из множества, выполняемых в процессе реализации регламента

$$f_{треб}(A) \to f(A_a) \to A_a.$$

2. Определить последовательность достижения целей системы, т.е. порядок перехода из первого состояния $A_1$ в последнее состояние $A_a$

$$A_1 \to A_2 \to \ldots \to A_a.$$

3. Для каждой цели определить количество и последовательность выполнения функций системы

$$A_1\left(F_{11} \to F_{12} \to \ldots \to F_{1c}\right)\ldots A_a\left(F_{a1} \to F_{a2} \to \ldots \to F_{ac}\right).$$

4. Для каждой функции определить количество и последовательность решения задач системы

$$F_1\left(Z_{11} \to Z_{12} \to \ldots \to Z_{1q}\right)\ldots F_c\left(Z_{c1} \to Z_{c2} \to \ldots \to Z_{cq}\right).$$

5. Для каждой задачи определить необходимое количество ресурса и порядок его задействования

$$Z_1\left(E_{11} \to E_{12} \to \ldots \to E_{1m}\right)\ldots Z_q\left(E_{q1} \to E_{q2} \to \ldots \to E_{qm}\right)$$

6. Для каждого структурного и функционального элемента системы необходимо определить перечень требований, показателей их описывающих и критериев их оценки, выполнение которых позволит принимать решение, что цель достигнута, задача, функция могут быть выполнены, а ресурс может быть использован для функционирования системы.

При невыполнении регламента, т.е. возникновении ситуации, когда цель функционирования системы не достигнута, или достигнута, но при этом не выполняются предъявляемые к ней требования по качеству и времени возникает возможность не выполнения целей вышестоящей системы в интересах которой функционирует ИУС. Для достижения цели системы с требуемым качеством и в срок необходим постоянный

контроль и своевременная реакция на изменения ее состояния и невыполнение промежуточных элементов регламента, определения что вызвало нарушение, какой элемент не выполняет свои функции. Кроме этого, необходим поиск подходов, позволяющих прогнозировать изменение состояния системы и ее элементов для своевременной реакции на предполагаемое изменение, которое будет причиной не выполнения системой целевого предназначения.

Оценка большинства современных СТС базируется на нескольких вариантах изменяющейся структуры, или вообще на одном статическом варианте, что противоречит эволюционному и процессному подходам. Статические подходы не учитывают изменения состояния системы и среды в масштабе реального времени. Кроме этого, динамика современной жизни и быстрота изменения состояний системы требуют поиска новых подходов к обеспечению устойчивого функционирования системы на основе процессного подхода, позволяющего описывать порядок выполнения регламента, выявлять критические объекты и процессы в системе и проверять выполнение регламента в режиме реального времени.

Для выполнения регламента необходимо проведение анализа состояния современной ИУС и построение ее модели, как объекта исследования. ИУС представляет собой сложную пространственно распределенную техническую систему, включающую различные сети, подсистемы, объекты и элементы системы, переферийные устройства и программное обеспечение. Модель системы, как СТС (рис. 3.20), включает ее основные элементы.

Исходными данными для формирования и построения СТС является план, преобразованный в профиль плана. В процессе функционирования системы на выходе формируется профиль функционирования системы (рис. 4.1).

Под профилем функционирования системы понимается набор правил, требований, указаний ЛПР, определяющий целевое предназначение построения системы, основные задачи и функции, которые ей необходимо выполнить, а также потребный для этого ресурс.

Профилем процесса функционирования системы называется формируемые в процессе функционирования системы взаимосвязанные цели, требования, функции и задачи системы, выполнение которых обеспечивается имеющимся у системы ресурсом, разнесенным в пространстве и времени.

На рисунке 4.1 факторы воздействия $O$ обусловлены:

$O_1$ – воздействие природных и техногенных факторов искусственного и естественного характера (грозы, бури, ураганы, дожди, жара, холод пожары и т.д.);

$O_2$ – информационные и информационно-технические воздействия;

$O_3$ – физические воздействия на систему и ее элементы;

$O_4$ – радиоэлектронные воздействия;

$O_5$ – воздействия других систем и их элементов;

$O_s$ – другие воздействия.

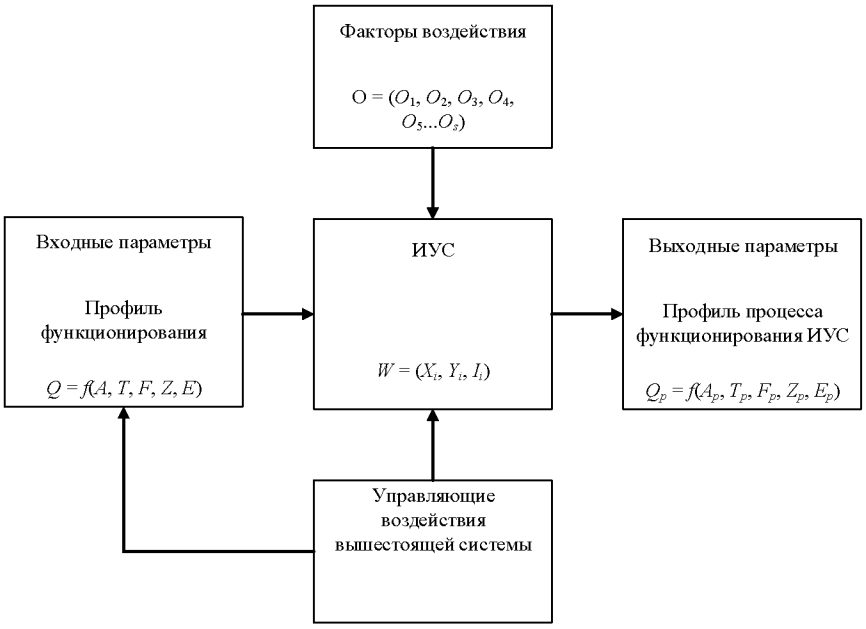



Рисунок 4.1 – Структурная схема формирования профиля функционирования системы

Система описывается вектором $W$, который характеризуется структурой $G = (G_1, G_2, G_3, G_4, \ldots G_i)$, где $i$ – количество структур системы, описывающих ее элементы, функциональной связностью $Y = (Y_1, Y_2, \ldots Y_i)$ и информационной связностью $I = (I_1, I_2, \ldots I_i)$.

На основании требований, предъявляемых к ИУС, вышестоящая система, в интересах которой она функционирует, ресурсного обеспечения системы и своих задач осуществляет формирование плана. Полученный план преобразуется в профиль функционирования системы, описывающий правила выполнения плана, кроме этого формируются профили подсистем, элементов системы. Сформированные профили и требования к системе сохраняются в базу данных, которая будет использоваться для построения ИУС и системы контроля ее состояния.

На основании профиля функционирования системы, ресурсного обеспечения, целевого предназначения системы и ее функциональных возможностей формируется профиль процесса функционирования системы, представляющий собой наборы взаимоувязанных целей, требований, функций, задач, регламентов и ресурсов системы.

**Суть метода** заключается формировании для любой сложной технической системы,

объекта критической информационной инфраструктуры формализованного описания процесса функционирования и структуры системы, использование которых позволит обеспечивать ФУ системы, ОКИИ.

Постановка задачи

Пусть задан:

система, описываемая графом $G$, состоящим их множества элементов (узлов) $N$ и связей между ними $N_{ij}$;

множество технических средств $N_k$, находящихся на элементах системы;

множество ресурсов $E$, задач $Z$, функций $F$, целей $A$ системы и требований $T$, предъявляемых к ней.

**Описание метода формирования профиля функционирования системы**

На основании исходных данных о ресурсном обеспечении системы, ее главной цели, реализованной в виде плана на определенный интервал времени, а также требований, предъявляемых к системе, ее элементам и процессу ее функционирования выделяют совокупность задач, функций, требований, целей системы, позволяющих выполнить целевое предназначение, т.е. реализовать задачу ЛПР и определяют требуемый для этого ресурс системы [65, 300, 319, 340].

Основными этапами метода формирования профиля функционирования системы являются четыре этапа (рис. 4.2)

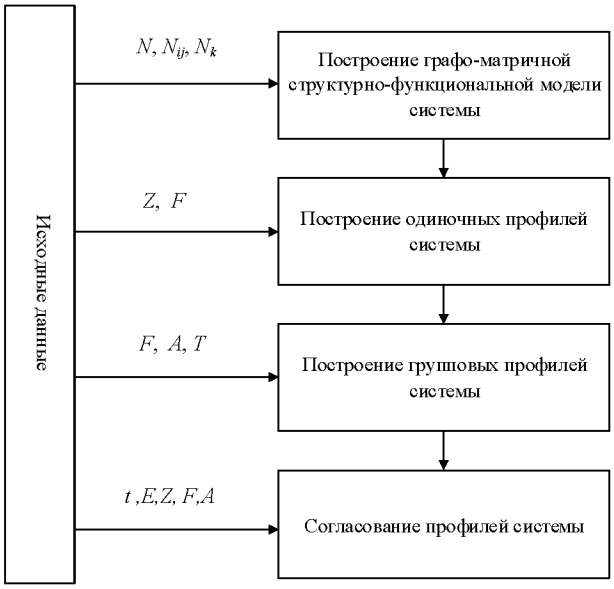



Рисунок 4.2 – Структура метода формирования профиля ИУС

На первом этапе строится графо-матричная структурно-функциональная модель системы, представляющая собой граф характеризующий ее структуру, который

описывается матрицами. Структурная модель предоставляет определенный ресурс для выполнения задач, функциональная модель, представляющая собой зависимые ресурсы, задачи, функции, цели и требования строится на основе структурной модели и описывается матрицами функционирования. Результатом построения модели является совокупность взаимосвязанных и взаимовложенных матриц, описывающих структуру системы и выполняемые ее задачи, функции, цели и требования.

На втором этапе формируются групповые профили системы, представляющие собой совокупности одиночных и групповых профилей, представленных в виде матриц и характеризующих выполнение системой функций, целей, требований.

На третьем этапе на основании графо-матричной структурно-функциональной модели строятся одиночные профили ИУС, описывающие задачи системы, для выполнения которых используется только один элемент системы (ресурс). Результатом построения одиночных профилей является совокупность матриц, описывающих задачи и элементы системы.

На четвертом этапе осуществляется согласование одиночных и групповых профилей по влиянию друг на друга и времени выполнения.

**Целевая аудитория профиля функционирования системы**

Настоящий профиль предназначен для специалистов в области обеспечения устойчивого функционирования СТС, систем связи, систем управления, ИУС, систем контроля, мониторинга, объектов КИИ (специалисты технического обеспечения, автоматизированных систем управления, должностные лица, занимающиеся мониторингом и контролем функционирования системы), в области проектирования и построения вышеперечисленных систем, кроме этого информация о понимании процессов формирования и использования профиля функционирования системы необходима ЛПР.

Должностные лица, занимающиеся обеспечением устойчивости и безопасности функционирования ИУС должны иметь информацию, необходимую для понимания процессов формирования и использования профиля функционирования системы (ПФС). Другим должностным лицам необходима информация о возможностях его использования для обеспечения устойчивого функционирования системы.

Предназначение ПФС

Основным предназначением ПФС является использование его как формализованного задания самой системе на функционирование и системе контроля для контроля выполнения регламентов в ней, выявления различных ситуаций в результате которых может нарушаться выполнение регламентов, а также выявления критичности элементов системы, оценки ее ФУ и критичности.

Под оценкой критичности ИУС понимается проверка влияния нарушения (невыполнения) задач, функций, целей системы на выполнение системой целевого предназначения.

Под оценкой ФУ системы понимается проверка выполнения системой сформированного профиля функционирования системы, характеризующего план функционирования системы.

Результаты оценки критичности и ФУ системы могут использоваться в системе поддержки принятия решения, в первую очередь, для формирования сценариев действия должностных лиц для ухода от критичности и обеспечения устойчивости функционирования системы. При этом, по мере развития системы, ее совершенствования и увеличения времени ее функционирования будет происходить постепенная автоматизация процессов обеспечения ФУ, за счет самостоятельного принятия решения системой на часть возникающих в системе событий.

Процессу формирования ПФС предшествует определение целевого предназначения системы. Целевое предназначение ИУС формируется в виде документа, содержащего в явном или неявном виде следующую информацию:

состав системы, т.е. какие элементы, объекты, подсистемы, сети и т.д. должны входить в систему;

количество и виды связей (услуг), которые необходимо реализовать;

в интересах кого (чего) она развертывается;

перечень задач, подзадач, функций, подфункций, целей, подцелей системы, которые необходимо выполнить для достижения ее целевого предназначения;

сроки выполнения задач, подзадач, функций, подфункций, целей, подцелей системы и подразделения, которые их будут выполнять;

требования, предъявляемые к системе и ее элементам, целям, функциям, задачам, ресурсам, которые отображаются либо в документах, либо формируются под определенный перечень ресурсов, задач, функций, целей;

ресурсное обеспечение для формирования системы, в том числе, ресурсы необходимые в резерв. При формировании перечня необходимого ресурса вышестоящая система должна знать состояние имеющихся подразделений, их реальную обеспеченность. При этом, для объективности получаемых данных поступление такой информации и сохранение ее в базах данных должно происходить на основании информации получаемой с датчиков контроля состояния системы и ее элементов в автоматическом режиме, без возможности участия человека;

пространственное расположение элементов системы, для обеспечения целевого

предназначения, а также порядок и сроки их перемещения;

перечень объектов, имеющих критически важное значение, а также мероприятий и средств для их защиты, обеспечения устойчивого и безопасного функционирования;

о среде, в которой будет осуществляться функционирование системы (критические значения показателей требований, к возможностям системы и которые должны выполняться). При этом, система может функционировать в условиях, определяемых минимальными требованиями к наиболее уязвимому элементу системы;

о перечне основных неисправностей и конфликтов в системе, обусловленных критичностью системы и ее элементов, а также возможностью невыполнения целей, функций и задач;

о перечне основных угрозах, возможностях по воздействию на систему и ее элементы, различных дестабилизирующих факторах, влияющих на функционирование системы и ее элементов.

Состояние реальной обеспеченности подразделений системы должно отображаться в рамках функционирования систем мониторинга и контроля в автоматизированном виде, без привлечения (минимального привлечения) человека [341, 342]. Перечень такой информации, в зависимости от условий функционирования системы и задач, для решения которых она формируется, может меняться.

В изложенных заказчиком требованиях, часто, присутствует ряд проблем, связанных с:

отсутствием знания об изменениях в подчиненной системе, ее ресурсном обеспечении, возможностях по выполнению функций и решению задач;

отсутствием достоверной и своевременной информации об отклике системы на управляющие воздействия;

задержками в предоставлении информации о состоянии системы и реакции ее на управляющие воздействия, обусловленных технической сложностью системы, динамикой изменения обстановки, иерархичностью системы и необходимостью согласования воздействий и откликов на них, интервалами проверки состояния элементов системы;

отсутствием специалистов, хорошо разбирающихся не только в системе, которую они эксплуатируют, но и в системах, подчиненных, вышестоящих, взаимодействующих, принципах их построения и функционирования, а также отсутствие (низкий уровень) координации действий, взаимодействия специалистов, отвечающих (эксплуатирующих) за каждую систему;

неполным перечнем требований, обусловленных изменяющейся обстановкой, совершенствованием и модернизацией системы, появлением новых элементов, функций,

услуг и т.д. Отсутствие критериев и показателей, предъявляемых требований к системе и ее элементам, характеризующим их функционирование;

недостаточным и четким описанием требований, функций, задач системы, а также недостаточным согласованием требований со средой в которой будут функционировать элементы системы;

отсутствием, неоднозначной формулировкой оценки выполнения системой, предъявляемых к ней требований, оценки достижения ею целевого предназначения;

отсутствием требований к системе контроля и порядку ее функционирования, достижения ею своего целевого предназначения;

наличием расплывчатых формулировок. Например, задача должна быть выполнена с использованием такого ресурса, но не определяется где его взять, какой результат выполнения задачи и т.д.;

наличием внутренних противоречий в системе, влияющих на невыполнение требований и т.д.

При формировании требований к системе, формулировании задач и определения функций может возникнуть проблема неверной интерпретации задач, что требует решения лингвистической задачи и выработки общего для исполнителя и заказчика языка взаимодействия, исключающего двоякую трактовку, а также формализацию постановки задачи. По сути ПФС является формализованным требование ЛПР, вышестоящей системы, в интересах которых строится и будет функционировать ИУС, к ней [269, 270, 301, 302].

Результатом построения ПФС в системе должен стать продукт, описывающий структуру и функциональные возможности системы, направленный на решение задач и предназначенный для системы управления СТС и системы контроля ее функционирования [343, 344].

**Общий подход к формированию ПФС**

Предназначение ПФС определяется потребностями ЛПР, вышестоящей системы, а процесс формирования его включает:

определение необходимости формирования ПФС;

определение проблемы ФУ системы;

определение целей системы;

определение требований ФУ системы;

определение функций и задач системы, позволяющих выполнить цели системы;

определение конкретных функциональных возможностей элементов системы по реализации функций и задач.

Определение проблемы ФУ ИУС включает формализованное ее описание,

масштабов проблемы ФУ системы, а также способов ее обеспечения. Если проблема определена неправильно, то ее можно интерпретировать, как цель системы по обеспечению ФУ, тогда и ПФС может быть неправильны, т.е. не описывать процесс функционирования с требуемым качеством.

Необходим поиск способов решения проблемы ФУ ИУС в тех условиях в которых находится система, при этом необходимо учитывать возможность изменения условий и необходимость реакции ее на них, правильной реакции, при которой требуемый уровень ФУ будет обеспечиваться.

Проблема должна представлять собой четкую, краткую и непротиворечивую формулировку. При формулировании проблемы обеспечения ФУ ИУС необходимо учитывать угрозы, влияющие на устойчивость функционирования системы, при этом, существенным является процесс документирования воздействия угроз, которым планировалось противостоять, а также тем, которым – не планировалось. Подразумевается постоянное пополнение базы угроз ИУС, в том числе, идентификации угрозы по характеру и результатам воздействия на систему.

В процессе формирования ПФС и обеспечения ее ФУ необходимо учитывать наличие различных дестабилизирующих факторов, возможностей системы в процессе ее функционирования по идентификации и реагированию на воздействие таких факторов, а также новых появляющихся угроз. В процессе функционирования, изменяющейся обстановки, появления новых требований, задач, функций, возможности синтеза системы, в том числе, по корректировке ПФС.

Одним из элементов ПФС является оценка рисков устойчивого функционирования ИУС, которая является частью проблемы ФУ. Оценка рисков должна производиться на этапе проектирования системы, а также в процессе ее функционирования, при этом должен быть определен перечень рисков, которые возможно снизить использованием различных мероприятий, перечень постоянных и временных рисков.

Для определения риска необходимо наличие угрозы, определение степени влияния элемента, на который оказывает влияние данная угроза, на процесс функционирования системы, определение других элементов системы, на функционирование которых влияет нарушение функционирования первого элемента, и оценка нанесенного ущерба от угрозы, нарушения функционирования каждого из выделенных элементов. При определении рисков необходимо учитывать, также, когда действие угрозы будет обнаружено и локализовано в процессе функционирования ИУС, и как это повлияет на ущерб. На основании оценки рисков формируется база уязвимостей элементов ИУС.

В рамках ПФС формируется таблица, характеризующая влияние каждой угрозы на

устойчивое функционирование ИУС.

Для выделения тех угроз, которые влияют на функционирование ИУС, необходимо определение критериев отнесения угроз к такому классу, а также их идентификация. В качестве критерия можно рассматривать уровень ущерба, наносимого системе при воздействии угрозы на нее или ее элементы.

Основными угрозами любой сложной системы являются внутренние и внешние, естественные и искусственные воздействия. При формировании ПФС необходимо рассмотреть модель нарушителя устойчивого функционирования ИУС, т.е. выделить одним из факторов, являющегося угрозой устойчивому функционированию системы, человека.

Таблица 4.1 - Влияние угроз на устойчивое функционирование ИУС

| | Цель 1 | Цель 2 | … | Цель *A* | Требование 1 | Требование 2 | … | Требование *T* | Функция 1 | Функция 2 | … | Функция *F* | Задача 1 | Задача 2 | … | Задача *Z* |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Угроза 1 | + | | | | | + | | | + | + | | | + | | | |
| Угроза 2 | | + | | + | + | | | | | | | | + | | | |
| … | | | | | | | | | | | | | | + | | |
| Угроза *N* | + | | | + | | + | | + | | + | | | | | | + |
| Орг. мероприятие 1 | + | | | | + | | | | + | | | | + | | | |
| Орг. мероприятие 2 | | + | | | | + | | | | + | | | | + | | |
| … | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Орг. мероприятие *M* | | | | + | | | | + | | | | + | | | | + |
| Техническое мероприятие 1 | + | | | | + | | | | + | | | | + | | | |
| Техническое мероприятие 2 | | + | | | | + | | | | + | | | | + | | |
| … | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Техническое мероприятие *V* | | | | + | | | | + | | | | + | | | | + |

При этом нарушитель может быть внешним или внутренним и обладать определенными полномочиями в ИУС, иметь доступ к определенным ресурсам, элементам, обладать высоким уровнем квалификации по эксплуатации системы.

К ресурсам ИУС, использующимся в ПФС можно отнести:

информационные (базы данных, знаний, характеристики системы и т.д.);

физические (объекты системы, средства связи, линии связи, здания, сооружения, оборудование обеспечения и т.д);

технические (пропускная способность каналов и линий связи, скорость передачи информации и т.д.);

процессы (производственные, финансовые, взаимодействия, и т.д.) и др.

Обязательным элементом ПФС является процесс определения целей функционирования ИУС и целей обеспечения ее устойчивого функционирования. Цели представляют собой реакцию системы на проблему обеспечения ФУ. Цели представляются в виде аннотации и описания требуемых функциональных возможностей системы и ее элементов, направленных на обеспечение устойчивого функционирования, т.е. выполнение всего перечня задач и функций с требуемым качеством. При этом цели можно разделить на два класса:

достижение которых возможно с использованием технических мер;

достижение которых возможно с использованием организационных мер.

Цели должны иметь краткую и четкую формулировку, а также определять достижение главной цели, целевого предназначения ИУС, устойчивого ее функционирования.

Определив проблему устойчивости функционирования ИУС и цели системы необходимо уточнить, как она будет достигать данные цели. Цели и показатели требований, предъявляемых к ИУС, достигаются выполнением системой определенных функций, обуславливающих устойчивое функционирование системы. Функции должны иметь краткую и четкую формулировку, а также определять достижение целей системы и ее целевого предназначения.

Функции ИУС определяются на основании модели функционирования и ее возможностей. Они позволяют достигать цели системы. Целесообразно выделять основные функции системы и функции обеспечения функционирования системы, которые включают обеспечение ФУ. Деление носит условный характер и может использоваться для удобства работы с функциями. Сначала определяются основные функции системы, потом функции обеспечения. При этом не стоит забывать, что увеличение количества функций ведет к увеличению стоимости системы. Отдельно выделяются функции, которые не используются

для достижения целей системы, и обеспечения выполнения целей и других функций, но могут быть использованы в системе для улучшения качества ее функционирования и качества предоставляемых услуг.

Таблица 4.2 - Определение функций ИУС и их влияния на требования и цели ситемы

| | Цель 1 | Цель 2 | … | Цель *A* | Требование 1 | Требование 2 | … | Требование *T* |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Функция 1 | + | | | | | + | | |
| Функция 2 | | + | | + | + | | | |
| … | | | | | | | | |
| Функция *F* | + | | | + | | + | | + |

Формализация каждой функции включает:

наименование функции;

описание функции;

информацию об обеспечении выполнения целей и требований системы с использованием этой функции;

определяется основной вариант (сценарий) и дополнительные (запасные) варианты (сценарии) задействования ресурсов (элементов) ИУС, участвующий в реализации данной функции. Такие сценарии формируются исходя из основного и дополнительных сценариев (вариантов) выполнения задач системы, выполнение которых позволит выполнить данную функцию;

определяется влияние каждого элемента на выполнение каждой функции;

определяется основной вариант (сценарий) и дополнительные (запасные) варианты (сценарии) задействования ресурсов (элементов) ИУС, участвующий в реализации каждой задачи, выполнение которой позволяет выполнить каждую функцию;

начало выполнения каждой функции и срок в течении которого она выполняется;

определяется результат выполнения той или иной функции ИУС.

Представление функционирования ИУС и ее элементов в виде ПФС во времени определяет процесс функционирования в виде регламента. Жизненный цикл любой системы конечен, и рассматривая ИУС необходимо понимать, что в рамках системы может создаваться другая система для решения определенного количества задач, целей, при этом она полностью в функциональном смысле имеет те же свойства, к ней предъявляются те же

требования, что и к большей системе в интересах которой функционирует ИУС.

Основой построения ИУС и осуществления ее синтеза является правило, определяющее неизменность требований и целевого предназначения системы, выполнение которых обусловлено возможностями системы по решению задач и выполнению ее функций, а также распределенным в пространстве ресурсом.

Аналогично рассмотренным выше функциям ИУС формируется множество всех возможных задач, решаемых в системе, за счет имеющегося ресурса, что позволяет выполнять функции системы.

Аксиома

Для любой функции ИУС существует, как минимум одна задача, позволяющая выполнить данную функцию за счет имеющегося ресурса.

### 4.1.1. Методика построения одиночного профиля функционирования системы

Под одиночным профилем функционирования в ИУС будет пониматься характеристика простейшего элемента системы для выполнения которого требуется только ресурс системы. Одиночный профиль функционирования системы во времени становится регламентом.

**Аксиома**

Для любого простейшего элемента функционирующей или проектируемой системы существует, как минимум один вариант построения одиночного профиля его функционирования, позволяющий описать выполняемые им задачи или действия.

**Аксиома**

При неограниченном ресурсе для любой существующей системы возможно построение профиля ее функционирования, позволяющего выполнить любое ее целевое предназначение.

Полученные данные, представленные в виде матриц смежности формируют базу данных функционирования всей ИУС.

В работе предлагается деление одиночных профилей на два вида:

профиль задачи, представленной в виде процесса ее выполнения, для выполнения которой требуется только ресурс системы;

профиль элементарного элемента, объекта системы, который может участвовать в выполнении только одной функции или задачи.

ПФС профиль первого типа представляет собой, описание задачи, включающее:

наименование одиночного профиля функционирования;

перечень ресурсов системы, необходимых для его решения;

перечень объектов, элементов системы, участвующих в его решении;

перечень объектов, элементов системы, которые могут быть использованы для его решения;

пространственно-временное расположение ресурсов, объектов, элементов системы, участвующих в его решении, в любой момент времени в процессе его решения. Таким образом, что при изменении координат любого ресурса, который может быть использован для выполнения задачи происходит изменение в базе данных;

порядок резервирования выполнения задачи (какие ресурсы, предоставляемые какими объектами, элементами системы будут использоваться для ее решения);

критерий оценки его выполнения;

начало проверки готовности его к выполнению;

начало выполнения и срок его выполнения;

динамическая и статическая критичность данной задачи Динамическая критичность задачи (одиночного профиля) с течением времени будет изменяться, что отображается в базе данных;

перечень и последовательность функций, для выполнения которых используется данная задача;

перечень и последовательность функций, для выполнения которых может использоваться данная задача.

Профиль второго типа включает:

наименование элемента, объекта;

назначение элемента, объекта;

полный перечень задач, для выполнения которых может использоваться данный элемент, объект;

полный перечень функций, для выполнения которых может использоваться данный элемент, объект;

перечень задач из ПФС, для выполнения которых используется данный элемент, объект;

перечень функций из ПФС, для выполнения которых используется данный элемент, объект;

полный перечень ресурсов, которые могут быть предоставлены системе данным элементом, объектом;

перечень ресурсов, которые предоставляются данным элементом, объектом системы и которые она использует в процессе функционирования;

перечень ресурсов системы, необходимый для функционирования элемента, объекта;

перечень элементов, объектов системы которые предоставляют ресурс, используемый для функционирования элемента, объекта;

перечень элементов, объектов системы которые могут предоставлять ресурс, может быть использован для функционирования элемента, объекта;

состав элемента, объекта;

сроки начала проверки готовности к использованию объекта, элемента;

периоды использования элемента, объекта для выполнения задач из ПФС, общее время его задействования в системе;

перечень технических характеристик и возможностей элемента, объекта;

требования к условиям функционирования элемента, объекта;

параметры и критерии оценки функционирования элемента, объекта;

перечень типовых угроз элементу, объекту;

перечень типовых неисправностей элемента, объекта;

статистика неисправностей их причины, способы устранения;

статическая и динамическая критичность объекта, элемента системы. Динамическая критичность изменяется во времени;

пространственно-временные характеристики элемента, объекта, которые в течении времени могут меняться и должны заноситься в базу данных.

Перечень элементов одиночного профиля не исчерпывается, представленными выше и может дополняться характеристиками элемента, объекта, задачи необходимыми для описания функционирования элемента, объекта, задачи.

**Постановка задачи.** Проведенный анализ и описание одиночного профиля функционирования ИУС показали, что существует потребность в формализации процесса функционирования системы и ее элементов, одним из элементов такого описания можно считать профиль функционирования системы. Сложность, критичность системы и динамика изменения ее состояния определяет потребность рассматривать ее как иерархическое образование элементов, имеющих определенные связи между собой. Наряду с традиционно применяющимся моделированием структуры системы в профиле осуществляется представление процесса функционирования системы в виде взаимосвязанных функциональных характеристик, невыполнение которых может приводить к невыполнению целевого предназначения системы, а также влиять на качество функционирования других элементов системы. В этом случае в системе возникает противоречие, обусловленное потребностями ЛПР и возможностями системы по их

реализации существующей структурой системы. Следствием этого противоречия является потребность ЛПР с одной стороны постоянно иметь информацию о состоянии системы, а с другой иметь варианты устранения ситуаций невыполнения функциональных элементов системы для чего требуется инструмент в качестве которого предлагается использовать профиль функционирования системы.

Данное противоречие и потребности ЛПР обуславливает существование актуальной **научной задачи**, заключающейся в необходимости разработки методики построения одиночного профиля функционирования ИУС, позволяющего с одной стороны формализовать процесс функционирования системы, с другой описывать потребность системы в выполнении ею определенного набора функций и задач, с третьей структурировать процесс функционирования системы, а также сформировать задание для системы контроль, что позволит удовлетворить потребности ЛПР в получении информации о состоянии системы и возникающих в ней нарушениях выполнения функциональных элементов.

**Суть методики** заключается в автоматизации процесса построения ИУС, основанного на определении целевого предназначения системы, выполнение которого возможно за счет определенной структурно-функциональной характеристики системы и определенного набора ресурсов, моделировании процесса функционирования системы и определения наиболее эффективной структурно-функциональной характеристики системы.

**Показателями эффективности** являются вероятность построения одиночного профиля функционирования ИУС, позволяющего своевременно выполнить целевое предназначение системы при минимальном количестве ресурсов затрачиваемых для этого

$$P_A\left(Q_0 \middle| t_{Q_0} \le t_{Q_0\text{треб}}, E_{Q_0} \to 0\right).$$

Вводимые **ограничения**:

рассматриваемая система представляет собой множество разнородных пространственно-разнесенных элементов и ресурсов;

связь элементов друг с другом определяется техническими возможностями технических средств, находящихся на них;

процесс функционирования системы (достижение целевого предназначения) определяется выполнением ее (ее элементами) определенного (требуемого) перечня задач, функций, требований, целей;

ресурс, используемый для построения одиночного профиля функционирования ИУС в момент его построения имеется в системе и исправен.

Принято **допущение**: имеющийся у системы ресурс достаточен для выполнения целевого предназначения системы.

**Исходными данными** в методике являются:

состав системы, включающий $G$ элементов и $L$ линий, и ее структура в виде графа $W = (G, L)$;

множество технических средств, находящихся на элементах системы, выступающих в качестве технического ресурса системы $N_k = \{N_1, N_2, \ldots, N_k\}$;

множество ресурсов системы, являющихся результатом функционирования технических средств, находящихся на элементах системы $E_N = \{ E_{N1}, E_{N2}, \ldots, E_{Nm}\}$;

множество ресурсов системы, находящихся в ней $E_m = \{N_k, E_N\}$;

множество задач в выполнении которых участвуют элементы технической системы $Z_{Nq} = \{Z_{N1}, Z_{N2}, \ldots, Z_{Nq}\}$;

множество функций в выполнении которых участвуют элементы технической системы за счет выполнения задач системы $F_{Nc} = \{F_{N1}, F_{N2}, \ldots, F_{Nc}\}$;

целевое предназначение системы, выполнение которого обеспечивается выполнением функций системы $A = \{F_1, F_2, \ldots, F_c\}$.

**Используемые методы:** методы теории графов; методы теории матриц, методы теории вероятности, методы теории множеств [345, 346].

**Описание методики**

Для построения одиночного профиля функционирования ИУС необходимо:

1. Определение требований к системе, ее целевого предназначения, которое характеризуется величиной конечной цели системы из множества, выполняемых в процессе реализации регламента

$$f_{треб}(A) \to f(A_a) \to A_a.$$

2. Определить последовательность достижения целей системы, т.е. порядок перехода из первого состояния $A_1$ в последнее состояние $A_a$

$$A_1 \to A_2 \to \ldots \to A_a.$$

3. Определение требований к функциям исходя из требований, предъявляемых к целевому предназначению и системе в целом

$$f_{треб}(A_a) \to f_{треб}(F_c).$$

4. Для каждой цели определить количество и последовательность выполнения функций системы

$$A_1(F_{11} \to F_{12} \to \ldots \to F_{1c}) \ldots A_a(F_{a1} \to F_{a2} \to \ldots \to F_{ac}).$$

5. Определение требований к задачам исходя из требований, предъявляемых к целевому предназначению, системе в целом, а также требований к функциям

$$f_{треб}(A_a) \to f_{треб}(F_c) \to f_{треб}(Z_q).$$

6. Для каждой функции определить количество и последовательность решения задач системы, выполнение которых позволит выполнить функцию

$$F_1\left(Z_{11} \to Z_{12} \to \ldots \to Z_{1q}\right) \ldots F_c\left(Z_{c1} \to Z_{c2} \to \ldots \to Z_{cq}\right)$$

7. Определение требований к ресурсам системы исходя из требований, предъявляемых к целевому предназначению, системе в целом, а также требований к функциям и задачам

$$f_{треб}(A_a) \to f_{треб}(F_c) \to f_{треб}(Z_q) \to f_{треб}(E_m).$$

8. Для каждой задачи определить необходимое количество ресурса и порядок его задействования

$$Z_1\left(E_{11} \to E_{12} \to \ldots \to E_{1m}\right) \ldots Z_q\left(E_{q1} \to E_{q2} \to \ldots \to E_{qm}\right)$$

9. Определение перечня одиночных профилей функционирования системы, которые необходимо выполнить для достижения целевого предназначения системы

$$Q = \{Q_1, Q_2, \ldots, Q_i\}.$$

10. Определение для каждого одиночного профиля функционирования ИУС множества вариантов задействования ресурсов системы для его выполнения

$$Q_i = \{Q_{1i}, Q_{2i}, \ldots, Q_{ji}\}$$

11. Оценка необходимого ресурсного обеспечения для выполнения каждого варианта выполнения одиночного профиля функционирования ИУС

$$Q_{1i} < Q_{2i} < \ldots < Q_{ji}.$$

12. Выбор оптимального по минимуму ресурса варианта выполнения одиночного профиля функционирования ИУС и определение его как основного (при этом, в качестве критерия могут быть выбраны: стоимость, эффективность выполнения профиля, надежность, устойчивость элементов системы, участвующих в его выполнении, минимальное задействование технических средств для его выполнения и т.д.)

$$\underset{E}{opt} Q_{ji}.$$

13. Формирование множества дополнительных вариантов выполнения каждого одиночного профиля функционирования ИУС, которые являются не оптимальными,

$$Q_{i\text{доп}} = \{Q_{1i}, Q_{2i}, \ldots, Q_{(j-1)i}\}$$

14. Ранжирование дополнительных вариантов выполнения каждого одиночного профиля функционирования ИУС по критерию минимального необходимого ресурса (аналогичным образом может быть выбран другой критерий ранжирования).

Каждой задаче в системе присваивается ресурс, позволяющий ее выполнить, при этом, в процессе ее функционирования определяется последовательность выполнения задач

и периодичность задействования ресурсов. Формируются матрицы ресурсного обеспечения выполнения задач в процессе функционирования системы:

$$q_{Z-E} = \begin{vmatrix} 0 & 1 & \dots & 0 \\ 1 & 0 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & 1 \end{vmatrix},$$

где строки характеризуют задачи системы, а столбцы ресурсы системы.

Также формируется матрица временно́го задействования ресурсов системы

$$q_{E-t} = \begin{vmatrix} 1 & 1 & 1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 1 & 1 & 0 & \dots & 1 \end{vmatrix},$$

где строки характеризуют ресурсы системы, а столбцы временные отрезки в течении которых используется ресурс, при этом, значение отрезка, обозначенного как «1» соответствует величине $\Delta t = t_a - t_{a\text{-}1}$ и выбирается исходя из требований системы контроля, ИУС, а также условий функционирования системы, $a = [0, N)$, $N$ – множество натуральных чисел, величина $\Delta t = t_a - t_0$ определяет общее время функционирования системы, как правило, $t_0 = 0$.

Аналогично формируется матрица выполнения задач:

$$q_{Z-t} = \begin{vmatrix} 1 & 1 & 1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 1 & 1 & 0 & \dots & 1 \end{vmatrix},$$

где строки характеризуют задачи системы, а столбцы временные отрезки.

Для каждого элемента, объекта системы формируется матрица задач, которые он выполняет в процессе функционирования системы:

$$q_{O-Z} = \begin{vmatrix} 1 & 1 & 1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 1 & 1 & 0 & \dots & 1 \end{vmatrix}.$$

Кроме этого, формируется матрица возможностей каждого объекта, характеризующая количество ресурса, предоставляемого объектом для системы:

$$q_{O-E} = \begin{vmatrix} 1 & 1 & 1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 1 & 1 & 0 & \dots & 1 \end{vmatrix}.$$

Одиночный ПФС можно представить, как:

для объекта

$$Q_0 = \{v, t, Z_q, F_c, (r_{вх}, r_{вых})\},$$

где $v$ – объект (элемент) системы, $t$ – время функционирования, $r$ – ресурс системы (на входе объекта и на выходе), $Z_q$ – перечень задач в выполнении которых участвует объект, $F_c$ – перечень функций в выполнении которых участвует объект.

для задачи

$$Q_0 = \{v_i, F_c, t, r\},$$

где $v$ – объект (элемент) системы, $i$ – объекты (элементы) системы, $t$ – время выполнения, $r$ – ресурс системы, который необходим для выполнения данного одиночного профиля, $F_c$ – перечень функций в выполнении которых участвует данный профиль.

Полученные в системе одиночные ПФС определяют нижний уровень ПФС. Одиночных профилей больше всего, и они вариативны, что позволяет обеспечивать гибкость функционирования системы и выполнения целевого предназначения за счет управления одиночными профилями, а также формирования из множества возможных вариантов выполнения каждого одиночного профиля групповых профилей более высокого уровня иерархии процесса функционирования системы, что позволит их использовать для обеспечения ФУ системы.

### 4.1.2. Методика построения группового профиля функционирования системы

Групповой профиль (ГП) функционирования системы представляет собой профиль функционирования ИУС, получаемый, как совокупность одиночных или групповых профилей, а также дополнительно ресурсов, не входящих в профили функционирования системы.

В работе рассматриваются ГП двух видов:

ГП, характеризующий структурную составляющую (объекты, элементы);

ГП, характеризующий функциональную составляющую (функции, цели, требования).

Также ГП, в зависимости от видов профилей, входящих в него, бывает шести видов:

состоящий только из одиночных профилей;

состоящий из одиночных профилей и ресурсов системы;

состоящий из одиночных и групповых профилей;

состоящий из одиночных, групповых профилей и ресурсов системы;

состоящий только из групповых профилей;

состоящий из групповых профилей и ресурсов системы.

При формировании ГП любого типа определяется:

наименование ГП (как правило, характеризует предназначение, функцию, цель, крупный элемент системы) и его вид;

количество одиночных и групповых профилей, входящих в групповой профиль;

последовательность задействования одиночных и групповых профилей для выполнения группового профиля;

время начала проверки готовности профиля к выполнению;

начало и длительность выполнения ГП;

общее количество ресурсов, необходимых для выполнения ГП, исходя из ресурсов необходимых для выполнения, входящих в него одиночных и групповых профилей, а также отдельных ресурсов;

для объектов и элементов системы определяется количество функций, целей в выполнении которых они могут участвовать, но не входящих в ПФС, предназначенный для достижения целевого предназначения данной системы.

**Аксиома**

Для любого группового профиля функционирования системы существует, как минимум один одиночный профиль функционирования системы и ресурс, которые позволяют его сформировать и выполнить.

Адекватность и непротиворечивость данной аксиомы обусловлены определением группового профиля и его видами. Исходя из определения группой профиль функционирования системы состоит из одиночных, групповых профилей, а также ресурсов, не входящих в профили функционирования системы. Принимая во внимание, что наименьший элемент системы – это ресурс, а ГП профиль должен состоять, как минимум из двух элементов, то можно сделать предположение, что для системы в которой существует ГП, выполнение его обеспечивается как минимум за счет выполнения одного одиночного профиля функционирования системы и ресурса ИУС.

Предположим, что это не так и выполнение любого ГП обеспечивается за счет только ресурса (один, два и более), тогда такой групповой профиль будет подпадать под понятие одиночного профиля и противоречить понятию ГП, что определяет неверность данного предположения.

Предположим, что выполнение ГП обеспечивается только за счет одного одиночного профиля, тогда такой ГП будет подпадать под понятие одиночного профиля и рассматривать его в качестве ГП нецелесообразно.

Аксиома

Выполнение любого группового профиля функционирования системы обеспечивается за счет ресурсов.

Перечень элементов группового профиля не исчерпывается, представленными выше и может дополняться характеристиками необходимыми для описания процесса его построения и функционирования.

**Постановка задачи.** Наличие в системе большого количества одиночных ПФС характеризует ее возможности. Одиночные ПФС являются элементами системы, позволяющими ей выполнить свое целевое предназначение за счет выполнения групповых профилей, формируемых из одиночных ПФС, а также сформировать ПФС системы, наличие которого позволить ЛПР иметь информацию о возможностях и состоянии системы в любой момент времени.

Потребности ЛПР обуславливают существование актуальной **научной задачи**, заключающейся в необходимости разработки методики построения группового профиля функционирования ИУС, позволяющего с одной стороны формализовать процесс функционирования системы, с другой описывать потребность системы в выполнении ее определенного набора функций и задач, с третьей структурировать процесс функционирования системы, а также сформировать задание для системы контроль, что позволит удовлетворить потребности ЛПР в получении информации о состоянии системы и возникающих в ней нарушениях выполнения функциональных элементов. Кроме этого, ГП позволяет сформулировать целевое предназначение системы и определить взаимосвязи между одиночными профилями системы и ресурсом ИУС и других системы для обеспечения выполнения целевого предназначения системы. Определение взаимосвязи между одиночным и групповыми профилями определяет построение всего профиля функционирования системы.

**Суть методики** заключается в автоматизации процесса построения технической системы, основанного на определении целевого предназначения системы, выполнение которого возможно за счет определенной структурно-функциональной характеристики системы и определенного набора ресурсов, свернутых в виде одиночных профилей функционирования, которые представляют первый уровень иерархического построения профиля функционирования системы, моделировании процесса функционирования системы и определения наиболее эффективной структурно-функциональной характеристики системы.

**Показателями эффективности** являются вероятность построения ГП, как элемента ПФС, совокупность которых позволит своевременно выполнить целевое предназначение системы при минимальном количестве ресурсов затрачиваемых для этого

$$P_A\left(Q_{\text{гр}}\middle| t_{Q_{\text{гр}}} \le t_{Q_{\text{гр}}\text{треб}}, E_{Q_{\text{гр}}} \to 0\right).$$

Вводимые **ограничения**:

рассматриваемая система представляет собой множество разнородных пространственно-разнесенных элементов и ресурсов;

связь элементов друг с другом определяется техническими возможностями технических средств, находящихся на них;

процесс функционирования системы (достижение целевого предназначения) определяется выполнением ее (ее элементами) определенного (требуемого) перечня задач, функций, требований, целей;

в системе имеется множество разнородных одиночных профилей функционирования системы, определяющих способность системы выполнить отдельные возможные задачи, функции, требования, цели;

ресурс, используемый для построения группового профиля функционирования системы в момент его построения имеется в системе и исправен.

Принято **допущение**: имеющийся у системы ресурс достаточен для выполнения целевого предназначения системы.

**Исходными данными** в методике являются:

состав технической системы, включающий $G$ элементов и $L$ линий, и ее структура в виде графа $W = (G, L)$;

множество технических средств, находящихся на элементах системы, выступающих в качестве технического ресурса системы $N_k = \{N_1, N_2, \ldots, N_k\}$;

множество ресурсов системы, являющихся результатом функционирования технических средств, находящихся на элементах системы $E_N = \{ E_{N1}, E_{N2}, \ldots, E_{Nm}\}$;

множество ресурсов системы, находящихся в ней $E_m = \{N_k, E_N\}$;

множество задач в выполнении которых участвуют элементы технической системы $Z_{Nq} = \{Z_{N1}, Z_{N2}, \ldots, Z_{Nq}\}$;

множество функций в выполнении которых участвуют элементы технической системы за счет выполнения задач системы $F_{Nc} = \{F_{N1}, F_{N2}, \ldots, F_{Nc}\}$;

множество одиночных профилей функционирования ИУС, которые она может выполнить за счет имеющихся ресурсов системы $Q_{0i} = \{Q_{01i}, Q_{02i}, \ldots, Q_{0ji}\}$;

целевое предназначение системы, выполнение которого обеспечивается выполнением функций системы $A = \{F_1, F_2, \ldots, F_c\}$.

**Используемые методы:** методы теории графов; методы теории матриц, методы теории вероятности, методы теории множеств [345, 346].

**Описание методики**

Для построения группового профиля функционирования ИУС необходимо:

1. Определение требований к системе, ее целевого предназначения, которое характеризуется величиной конечной цели системы из множества, выполняемых в процессе реализации регламента

$$f_{треб}(A) \to f(A_a) \to A_a.$$

2. Определить последовательность достижения целей системы, т.е. порядок перехода из первого состояния $A_1$ в последнее состояние $A_a$

$$A_1 \to A_2 \to ... \to A_a.$$

3. Определение требований к функциям исходя из требований, предъявляемых к целевому предназначению и системе в целом

$$f_{треб}(A_a) \to f_{треб}(F_c).$$

4. Для каждой цели определить количество и последовательность выполнения функций системы

$$A_1(F_{11} \to F_{12} \to ... \to F_{1c})....A_a(F_{a1} \to F_{a2} \to ... \to F_{ac}).$$

5. Определение требований к задачам исходя из требований, предъявляемых к целевому предназначению, системе в целом, а также требований к функциям

$$f_{треб}(A_a) \to f_{треб}(F_c) \to f_{треб}(Z_q).$$

6. Для каждой функции определить количество и последовательность решения задач системы, выполнение которых позволит выполнить функцию

$$F_1(Z_{11} \to Z_{12} \to ... \to Z_{1q})...F_c(Z_{c1} \to Z_{c2} \to ... \to Z_{cq})$$

7. Определение требований к ресурсам системы исходя из требований, предъявляемых к целевому предназначению, системе в целом, а также требований к функциям и задачам

$$f_{треб}(A_a) \to f_{треб}(F_c) \to f_{треб}(Z_q) \to f_{треб}(E_m).$$

8. Для каждой задачи определить необходимое количество ресурса и порядок его задействования

$$Z_1(E_{11} \to E_{12} \to ... \to E_{1m})....Z_q(E_{q1} \to E_{q2} \to ... \to E_{qm})$$

9. Определение для каждой функции, цели перечня одиночных профилей функционирования, а также ресурсов, не входящих в одиночные профили функционирования, которые необходимы для их выполнения

$$F_i(Q_0) = \{Q_{01}, Q_{02}, ..., Q_{0i}, E_1, E_2, ..., E_j\},$$

$$A_i(Q_0) = \{Q_{01}, Q_{02}, ..., Q_{0i}, E_1, E_2, ..., E_j\}$$

10. Определение необходимого количества групповых профилей функционирования системы, позволяющих достигать ее целевое предназначение

$$Q_{\text{гр}A} = \{A_1(Q_0), A_2(Q_0), ..., A_i(Q_0)\};$$

$$Q_{\text{гр}F} = \{F_1(Q_0), F_2(Q_0), ..., F_i(Q_0)\};$$

$$Q_{\text{гр}} = \{Q_{\text{гр}F}, Q_{\text{гр}A}\}$$

11. Определение для каждого ГП ПФС множества вариантов задействования выполнения одиночных профилей ПФС и ресурсов системы, не использующихся в профилях функционирования системы, для его выполнения

$$Q_{\text{гр}i} = \{Q_{\text{гр1}i}, Q_{\text{гр2}i}, ..., Q_{\text{гр}ji}\}$$

12. Оценка необходимого ресурсного обеспечения для выполнения каждого варианта выполнения группового профиля функционирования

$$Q_{\text{гр1}i} < Q_{\text{гр2}i} < ... < Q_{\text{гр}ji}.$$

13. Выбор оптимального по минимуму ресурса варианта выполнения ГП ПФС и определение его как основного

$$\underset{E}{opt} Q_{\text{гр}ji}.$$

14. Определение для каждого ГП ПФС множества вариантов задействования выполнения групповых, одиночных профилей функционирования и ресурсов системы, не использующихся в профилях функционирования системы, для его выполнения

$$Q_{\text{гр}i} = \{Q_{\text{гр1}i}, Q_{\text{гр2}i}, ..., Q_{\text{гр}ji}\}$$

15. Оценка необходимого ресурсного обеспечения для выполнения каждого варианта выполнения ГП ПФС с использованием групповых, одиночных профилей ПФС и ресурсов системы

$$Q_{\text{гр1}i} < Q_{\text{гр2}i} < ... < Q_{\text{гр}ji}.$$

16. Выбор оптимального по минимуму ресурса варианта выполнения группового профиля функционирования, с учетом оптимального ГП ПФС, для выполнения которого использовались только одиночные профили ПФС и ресурсы и определение его как основного (аналогично, как для одиночных ПФС, при выборе оптимального ГП ПФС могут использоваться различные критерии выбора)

$$\underset{E}{opt} Q_{\text{гр}ji}.$$

17. Формирование множества дополнительных вариантов выполнения каждого группового профиля ПФС, включающего все возможные варианты его формирования

$$Q_{\text{гр}i\text{доп}} = \{Q_{1i}, Q_{2i}, ..., Q_{(j-1)i}\}$$

18. Ранжирование дополнительных вариантов выполнения каждого ГП ПФС по критерию минимального необходимого ресурса (аналогично, как для одиночных ПФС, ранжирование вариантов выполнения ГП ПФС может проводится по различным критериям).

Формирование группового профиля описывается матрицами на основании которых формируется база данных ГП.

Формализация ГП ПФС любого типа может быть представлена, как:

$$Q_{гр} = \{Q_0; Q_{гр}\}.$$

Полученные в системе ГП ПФС определяют второй и последующие уровни построения ПФС, а также определяют способность системы выполнить свое целевое предназначение за счет минимального.

### 4.1.3. Методика согласования элементов профиля функционирования системы

В процессе выполнения ПФС, а также в процессе его изменения, отдельные элементы профиля оказывают влияние на другие его элементы. Это обусловлено тем, что ГП зависят от способности выполнения одиночных и групповых профилей, а весь профиль зависит от наличия и качества имеющегося ресурса для его выполнения. Все это требует согласования элементов профиля функционирования ИУС как на этапе проектирования и построения системы, так и в процессе ее функционирования, когда требуется изменение профиля, обусловленное изменением обстановки и воздействием различных факторов. Согласование элементов выполняемого профиля осуществляется по уровням ГП, как цели-требования, требования-функции, функции-задачи и одиночных профилей задачи-ресурсы. Данное согласование позволяет выявлять и принимать меры к устранению конфликтов, связанных с невыполнением целей, требований, функций, задач из-за отсутствия ресурсов еще на этапе проектирования и построения системы. Для каждой цели, требования, функции и задачи определяется возможность их своевременного выполнения и обеспеченность их соответствующим ресурсом.

**Постановка задачи.** Для формирования полноценного ПФС, позволяющего описать процесс функционирования системы, а также использовать минимальное количество ресурсов системы требуется согласование групповых и одиночных профилей по ресурсу, ГП по групповым и одиночным профилям, а также по времени их выполнения. Сложность описания системы обусловленная множеством элементов и связей между ними создает трудности ее формализации и описания, а также определения этих связей и влияния их друг

на друга. В процессе построения системы необходимо на основании полученных групповых и одиночных профилей ПФС определить не будет ли выполнение одного профиля приводить к невозможности выполнения другого, к появлению конфликта в системе. Кроме этого, в процессе эксплуатации системы могут изменяться обстановка и потребности ЛПР, что может привести к невозможности выполнения ПФС или снижению качества его выполнения. Неправильный и/или неоптимальный выбор ресурса для выполнения того или иного профиля может привести к неправильному формированию ПФС и тому, что в момент его выполнения ресурса у системы не будет, либо он будет, но система не сможет его использовать.

Все это определяет актуальность **научной задачи** исследования, заключающейся в необходимости разработки методики согласования элементов ПФС, позволяющей обеспечить построить такой профиль, который адекватно описывает процесс функционирования системы, позволяет повысить эффективность реализации возможностей системы за счет определения и управления ресурсами, задачами, функциями, одиночными и групповыми профилями ПФС и выполнить целевое предназначение системы.

**Суть методики** заключается в согласовании функциональных элементов системы, одиночных, групповых профилей функционирования ИУС, а также ресурсов используемых для выполнения профиля, определении связей и взаимовлияния их друг на друга в составе ПФС.

**Показателями эффективности** являются вероятность связности ПФС, состоящего из одиночных, групповых профилей ПФС и ресурсов его обеспечивающих, характеризующая способность системы выполнить целевое предназначение с минимальным ресурсом $P_A\left(Q(E \to Z \to F \to A)\middle| T = T_{\text{треб}}, t_Q \le t_{Q\text{треб}}, E_Q \to 0\right)$.

Вводимые **ограничения**:

рассматриваемая система представляет собой множество разнородных элементов;

связь элементов друг с другом определяется техническими возможностями технических средств, находящихся на них;

процесс функционирования системы (достижение целевого предназначения) определяется выполнением им (ее элементами) определенного (требуемого) перечня функций;

ресурс, используемый для проектирования и построения системы исправен и работоспособен.

Принято **допущение**: имеющийся у системы ресурс достаточен для выполнения ее целевого предназначения.

**Исходными данными** в методике являются:

состав технической системы, включающий $G$ элементов и $L$ линий, и ее структура в виде графа $W = (G, L)$;

множество технических средств, находящихся на элементах системы, выступающих в качестве технического ресурса системы $N_k = \{N_1, N_2, \ldots, N_k\}$;

множество ресурсов системы, являющихся результатом функционирования технических средств, находящихся на элементах системы $E_N = \{ E_{N1}, E_{N2}, \ldots, E_{Nm}\}$;

множество ресурсов системы, находящихся в ней $E_m = \{N_k, E_N\}$;

множество задач в выполнении которых участвуют элементы технической системы $Z_{Nq} = \{Z_{N1}, Z_{N2}, \ldots, Z_{Nq}\}$;

множество функций в выполнении которых участвуют элементы технической системы за счет выполнения задач системы $F_{Nc} = \{F_{N1}, F_{N2}, \ldots, F_{Nc}\}$;

множество одиночных профилей функционирования системы, которые она может выполнить за счет имеющихся ресурсов $Q_{0i} = \{Q_{01i}, Q_{02i}, \ldots, Q_{0ji}\}$;

множество групповых профилей ПФС, которые она может выполнить за счет имеющихся ресурсов и выполнения других профилей ПФС $Q_{\text{гр}i} = \{Q_{\text{гр}1i}, Q_{\text{гр}2i}, \ldots, Q_{\text{гр}ji}\}$;

целевое предназначение системы, выполнение которого обеспечивается выполнением функций системы $A = \{F_1, F_2, \ldots, F_c\}$.

**Используемые методы:** методы теории графов; методы теории матриц, методы теории вероятности, методы теории множеств [345, 346].

**Описание методики**

Согласования ПФС осуществляется по следующим направлениям:

согласование использования ресурсов для выполнения одиночных и групповых профилей;

согласование одиночных профилей функционирования системы;

согласование групповых профилей функционирования системы.

Кроме этого, на каждом из этапов согласования ПФС осуществляется согласование выполнения требований, предъявляемых к ресурсам, задачам, функциям и целям, а также одиночным и групповым профилям ПФС.

Согласование профиля осуществляется по следующим параметрам:

по времени выполнения задачи, функции, цели, задействования ресурса, а также выполнения одиночного или группового профиля ПФС;

по ресурсу необходимому для выполнения профилей ПФС;

по требованиям, предъявляемым к элементам системы (ПФС).

Групповые и одиночные профиля, входящие в состав ПФС и описывающие процесс функционирования элементов и объектов системы, а также выполнение задач, функций,

требование и целей системы оказывают влияние друг на друга. Любая сложная система всегда испытывает дефицит ресурсов, поэтому в условиях ограниченного ресурса в процессе функционирования могут возникнуть новые задачи или ситуации отсутствия ресурса для выполнения необходимой задачи, обусловленные динамикой функционирования системы, изменяющейся обстановкой. Все это определяет необходимость согласования элементов ПФС на этапе построения системы и в процессе ее функционирования при изменении обстановки.

Согласование профиль функционирования ИУС будет представлять собой согласование пяти уровней: уровень ресурсов, уровень задач – одиночные профили функционирования, уровни ресурсов, используемых для выполнения ГП, функций, требований, целей и целевого предназначения – групповые профили функционирования. Согласование элементов профиля осуществляется по горизонтали и вертикали в два этапа.

Согласование элементов профиля функционирования системы по вертикали [301, 302, 347]:

согласование групповых профилей целей и требований

$$F_{\text{согл. 1 эт 1 ур 11}} = f\{p_A, p_T\};$$

согласование групповых профилей функций и требований

$$F_{\text{согл. 1 эт 1 ур 12}} = f\{p_F, p_T\};$$

согласование одиночных профилей задач и требований

$$F_{\text{согл. 1 эт 1 ур 13}} = f\{p_Z, p_T\};$$

согласование одиночных профилей ресурсов и требований

$$F_{\text{согл. 1 эт 1 ур 14}} = f\{p_E, p_T\};$$

согласование групповых профилей целей и функций

$$F_{\text{согл. 1 эт 1 ур 2}} = f\{p_A, p_F\};$$

согласование групповых и одиночных профилей функций и задач

$$F_{\text{согл. 1 эт 1 ур 3}} = f\{p_F, p_Z\};$$

согласование элементов одиночных профилей задач и ресурсов

$$F_{\text{согл. 1 эт 1 ур 4}} = f\{p_Z, p_E\}.$$

Тогда согласование элементов ПФС на первом этапе по вертикали, примет вид:

$$F_{\text{согл. 1 эт 1}} = f\{F_{\text{согл. 1 эт 1 ур 1}}, F_{\text{согл. 1 эт 1 ур 2}}, F_{\text{согл. 1 эт 1 ур 3}}, F_{\text{согл. 1 эт 1 ур 4}}\}.$$

Согласование по горизонтали, включает:

согласование использования ресурсов, обеспечивающих решение задач системы:

$$G_{\text{согл. }E1} = g\{E_m, E_m\},$$

а с учетом времени выполнения

$$G_{\text{согл. }E} = \text{g}\{G_{\text{согл. }E1}, G_{\text{согл. }t}\},$$

где $G_{\text{согл. } t} = g\{t, t\}$ – согласование времени, необходимого для выполнения задачи (регламента);

согласование одиночных профилей задач, обеспечивающих функционирование системы:

$$G_{\text{согл. } Z} = g\{p_{Zq}, p_{Zq}\}.$$

согласование групповых профилей функций, обеспечивающих функционирование системы:

$$G_{\text{согл. } F} = g\{p_{Fc}, p_{Fc}\}.$$

согласование требований, предъявляемых к системе:

$$G_{\text{согл. } T} = g\{p_{Tn}, p_{Tn}\}.$$

согласование групповых профилей целей системы:

$$G_{\text{согл. } A} = g\{p_{Aa}, p_{Aa}\}.$$

Тогда согласование элементов ПФС на первом этапе по горизонтали, примет вид:

$$F_{\text{согл. 1 эт 2}} = f\{ G_{\text{согл. } A}, G_{\text{согл. } T}, G_{\text{согл. } F}, G_{\text{согл. } Z}, G_{\text{согл. } E} \}.$$

Общее выражение функции согласования 1 этапа можно обозначить выражением

$$F_{\text{согл. 1 эт}} = f\{ F_{\text{согл. 1 эт 1}}, F_{\text{согл. 1 эт 2}}\}.$$

После согласования первого этапа элементов ПФС, характеризующего функционирование системы, производится согласование элементов профиля на 2 этапе, включающее согласование согласованных элементов первого этапа

согласование согласованных ГП целей-функции и функции-задачи

$$F_{\text{согл. 2 ур 1}} = f\{F_{\text{согл. 1 эт 1 ур 2}}, F_{\text{согл. 1 эт 1 ур 3}}\}.$$

согласование согласованных ГП функции-задачи и ОП задачи-ресурсы

$$F_{\text{согл. 2 ур 2}} = f\{F_{\text{согл. 1 эт 1 ур 3}}, F_{\text{согл. 1 эт 1 ур 4}}\}.$$

согласование согласованных требований для целей, функций, задач и ресурсов

$$F_{\text{согл. 2 ур 3}} = f\{F_{\text{согл. 1 эт 1 ур 11}}, F_{\text{согл. 1 эт 1 ур 12}}, F_{\text{согл. 1 эт 1 ур 13}}, F_{\text{согл. 1 эт 1 ур 14}}\}.$$

Аналогично производится согласование элементов 2 уровня на втором этапе

$$F_{\text{согл. 2 эт}} = f\{F_{\text{согл. 2 ур 1}}, F_{\text{согл. 2 ур 2}}\}$$

Общее выражение для согласования профиля функционирования системы имеет вид

$$F_{\text{согл. ПФС}} = f\{F_{\text{согл. 1 эт}}, F_{\text{согл. 2 эт}}\}.$$

Для описания согласования целей, требований, функций, задач системы и возможности выполнения регламента для достижения ее целевого предназначения за счет имеющегося ресурса предлагается использовать математический аппарат теории матриц. Информация о соответствующих элементах регламента система получает из соответствующей базы данных. Рассмотрим соответствующие матрицы:

1. Согласование задач системы и ресурсов необходимых для их решения

$$q_{Z-E} = \begin{vmatrix} 1 & 1 & \dots & 0 \\ 0 & 1 & \dots & 1 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & 1 \end{vmatrix},$$

где столбцы соответствуют задачам системы, а строки характеризуют ресурсы системы необходимые для выполнения каждой задачи;

2. Согласование функций системы и задач, обеспечивающих их выполнение

$$q_{F-Z} = \begin{vmatrix} 1 & 1 & \dots & 0 \\ 0 & 1 & \dots & 1 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & 1 \end{vmatrix},$$

где столбцы соответствуют функциям системы, а строки характеризуют задачи системы, обеспечивающие выполнение каждой функции;

3. Согласование требований, предъявляемых к системе связи и целей системы

$$q_{A-F} = \begin{vmatrix} 1 & 1 & \dots & 0 \\ 0 & 1 & \dots & 1 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & 1 \end{vmatrix},$$

где столбцы соответствуют целям системы, а строки характеризуют требования, предъявляемые к ней;

4. Согласование требований, предъявляемых к ресурсам

$$q_{T-E} = \begin{vmatrix} 1 & 1 & \dots & 0 \\ 0 & 1 & \dots & 1 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & 1 \end{vmatrix},$$

где столбцы соответствуют требованиям, предъявляемым к ресурсам системы, а строки характеризуют ресурсы системы;

5. Согласование требований, предъявляемых к задачам

$$q_{T-Z} = \begin{vmatrix} 1 & 1 & \dots & 0 \\ 0 & 1 & \dots & 1 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & 1 \end{vmatrix},$$

где столбцы соответствуют требованиям, предъявляемым к задачам системы, а строки характеризуют функции системы;

6. Согласование требований, предъявляемых к функциям

$$q_{T-F} = \begin{vmatrix} 1 & 1 & \dots & 0 \\ 0 & 1 & \dots & 1 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & 1 \end{vmatrix},$$

где столбцы соответствуют требованиям, предъявляемым к функциям системы, а строки характеризуют функции системы;

7. Согласование требований, предъявляемых к целям и целевому предназначению системы

$$q_{T-A} = \begin{vmatrix} 1 & 1 & \dots & 0 \\ 0 & 1 & \dots & 1 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & 1 \end{vmatrix},$$

где столбцы соответствуют требованиям, предъявляемым к целям (целевому предназначению) системы, а строки характеризуют цели системы.

8. Согласование одиночных профилей ПФС по ресурсу

$$q_{E-Q_0} = \begin{vmatrix} 1 & 1 & \dots & 0 \\ 0 & 1 & \dots & 1 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & 1 \end{vmatrix},$$

где строки соответствуют одиночным ПФС, а столбцы характеризуют ресурсы системы.

9. Согласования ГП ПФС по ресурсу

$$q_{E-Q_{\text{гр}}} = \begin{vmatrix} 1 & 1 & \dots & 0 \\ 0 & 1 & \dots & 1 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & 1 \end{vmatrix},$$

где строки соответствуют групповым ПФС, а столбцы характеризуют ресурсы системы.

10. Согласования ГП ПФС по одиночным профилям

$$q_{Q_0-Q_{\text{гр}}} = \begin{vmatrix} 1 & 1 & \dots & 0 \\ 0 & 1 & \dots & 1 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & 1 \end{vmatrix},$$

где строки соответствуют групповым ПФС, а столбцы характеризуют одиночные ПФС.

В матрицах значения отображаются следующим образом: если для выполнения задачи требуется определенный ресурс, то формируется символ 1, иначе 0. Аналогично для функций, целей. Если требование предъявляется к ресурсу, задаче, функции или цели, формируется символ 1, иначе 0. Один и тот же ресурс может использоваться для

выполнения разных задач, что может приводить к возникновению конфликта в системе по ресурсу, который наглядно будет видно в столбце матрицы (если в столбце матрицы будет более одного символа 1). Для устранения таких конфликтов требуется согласование использования ресурсов для выполнения задач, функций, целей.

Основными элементами ПФС являются ОП ГП ПФС, выполнение которых необходимо согласовать по времени их выполнения.

Для согласования ПФС по времени осуществляется согласование задействования ресурсов по времени, а также согласование одиночных и групповых профилей по времени, таким образом что выбирается величина $\Delta t = t_a - t_{a\text{-}1}$ исходя из удобства и адекватности описания процесса выполнения профилей и задействования ресурсов, а также условий функционирования ИУС, а = [0,∞), величина $\Delta t = t_a - t_0$ определяет общее время функционирования системы, согласно ПФС, при этом, как правило, $t_0 = 0$ или привязывается к астрономическому времени. Помимо матриц задействования ресурсов и выполнения профилей формируются матрица конфликтов ресурсов и профилей, в которых если ресурс одновременно используется для реализации разных задач или профилей, то формируется символ 1, иначе 0. При этом по диагонали проставляются значения 0. Такое состояние, также может обуславливать возникновение конфликта в системе функционирования.

Матрица согласования ресурсов по времени будет иметь вид:

$$q_{E-t} = \begin{vmatrix} 1 & 1 & 1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 1 & 1 & 0 & \dots & 1 \end{vmatrix},$$

где столбцы соответствуют временным отрезкам, при этом каждый временной отрезок равен $\Delta t = t_a - t_{a\text{-}1}$, а строки ресурсам системы.

Матрица конфликтов по ресурсу и времени будет иметь вид:

$$q_{E-E} = \begin{vmatrix} 1 & 0 & 1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 1 & 0 & 0 & \dots & 1 \end{vmatrix},$$

где столбцы и строки соответствуют ресурсам системы. Если ресурс одновременно не задействуется для выполнения разных задач, профилей, то полученная матрица для системы будет нулевая, что будет определять отсутствие конфликта в системе.

Матрица согласования одиночных профилей по времени будет иметь вид:

$$q_{Q_0-t} = \begin{vmatrix} 1 & 1 & 1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 1 & 1 & 0 & \dots & 1 \end{vmatrix},$$

где столбцы соответствуют временным отрезкам, при этом каждый временной отрезок равен $\Delta t = t_a - t_{a\text{-}1}$, а строки одиночным профилям системы.

Матрица конфликтов по одиночным профилям и времени будет иметь вид:

$$q_{Q_0-Q_0} = \begin{vmatrix} 1 & 0 & 1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 1 & 0 & 0 & \dots & 1 \end{vmatrix},$$

где столбцы и строки соответствуют одиночным профилям системы. Если для выполнения разных одиночных ПФС одновременно не задействуется одинаковый ресурс, то полученная матрица для системы будет нулевая, что будет определять отсутствие конфликта в системе.

Матрица согласования групповых профилей по времени будет иметь вид:

$$q_{Q_{\text{гр}}-t} = \begin{vmatrix} 1 & 1 & 1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 1 & 1 & 0 & \dots & 1 \end{vmatrix},$$

где столбцы соответствуют временным отрезкам, при этом каждый временной отрезок равен $\Delta t = t_a - t_{a\text{-}1}$, а строки групповым профилям системы.

Матрица конфликтов по групповым профилям и времени будет иметь вид:

$$q_{Q_{\text{гр}}-Q_{\text{гр}}} = \begin{vmatrix} 1 & 0 & 1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 1 & 0 & 0 & \dots & 1 \end{vmatrix},$$

где столбцы и строки соответствуют групповым профилям системы. Если для выполнения разных групповых ПФС одновременно не задействуется одинаковый ресурс, то полученная матрица для системы будет нулевая, что будет определять отсутствие конфликта в системе.

Согласования уровней системы по горизонтали по целям, функциям, требованиям, задачам и ресурсам между собой производится с использованием матриц:

ресурсы

$$q_{E-E} = \begin{vmatrix} 1 & 1 & \dots & 0 \\ 1 & 1 & \dots & 1 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & 1 \end{vmatrix},$$

задачи

$$q_{Z-Z} = \begin{vmatrix} 1 & 1 & \dots & 0 \\ 1 & 1 & \dots & 1 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & 1 \end{vmatrix},$$

функции

$$q_{F-F} = \begin{vmatrix} 1 & 1 & \dots & 0 \\ 1 & 1 & \dots & 1 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & 1 \end{vmatrix},$$

требования

$$q_{T-T} = \begin{vmatrix} 1 & 1 & \dots & 0 \\ 1 & 1 & \dots & 1 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & 1 \end{vmatrix},$$

цели

$$q_{A-A} = \begin{vmatrix} 1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 1 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & 1 \end{vmatrix}.$$

Если цели, требования, задачи, функции, ресурсы не связаны между собой, то формируется матрица у которой по диагонали единицы. Формирование матриц целей, требований, функций, задач и ресурсов описывает порядок функционирования системы.

Процесс согласования элементов ПФС является ключевым при его формировании, т.к. он определяет адекватность формализации ИУС в виде профиля и способность системы выполнить свое целевое предназначение. Наличие или возникновение в ПФС и в самой системе конфликтов будет показывать, что она не может выполнить ту или иную потребность ЛПР. Согласование ПФС включает два основных этапа: согласование элементов профиля и согласование элементов, полученных на первом этапе. Реализация согласования профиля осуществляется через математический аппарат теории матриц. Полученный согласованный ПФС описывает потребность ЛПР в функционировании ИУС и позволяет говорить о способности системы выполнить свое целевое предназначение.

## 4.2. Понятие конфликта в процессе функционирования объектов критической информационной инфраструктуры на основе профиля функционирования системы. Классы конфликтов

Современные сложные технические системы функционирую в условиях неопределенности их состояния, которое определяется внешними и внутренними для нее факторами, одним из которых является возможность взаимодействия с другими объектами. Преследуемые цели системы, таких объектов, а также объективной реальности условий, в которых функционирует системы, могут становиться в противоречие. В этом случае реализация целей, взаимодействие системы с объектами может рассматриваться как конфликт с различными интересами.

Вопросу возникновения конфликтов между объектами посвящено множество научных работ, но единого понимания в его отношении. Конфликт следует рассматривать не как синоним конфронтации, а как способ преодоления противоречий, форму взаимодействия сложных систем [287]. Возникновение конфликта обусловлено столкновением интересов, для разрешения которых необходимо искать пути их преодоления, а часто каждая сторона не готова идти на компромисс, снижение требований к требуемому результату. Возникает необходимость поиска такого компромисса, при котором обеспечивается выполнение заданной для системы цели. Разрешение конфликта предлагается осуществлять с позиции закона сохранения целостности целевого предназначения системы. Процесс разрешения конфликта между двумя сторонами можно рассмотреть следующим образом: одна из сторон в условиях наличия воздействия различных факторов формирует перечень интересов, преобразовывающиеся в целевое предназначение. Другая сторона аналогично формирует свое состояние (способность выполнить целевое предназначение). В качестве интересов могут выступать экономические, политические, материальные и другие блага, кроме этого способность и потребность выполнить то или иное действие.

Структурная схема процесса разрешения конфликта между субъектами «А» и «Б» представлена на рис. 4.3.

Целевое предназначение достигается за счет реализации стороной определенного набора действий, показатель эффективности системы, как правило, выступает в качестве меры реализации целевого предназначения. Ядро конфликта содержит противоречия, возникающие между сторонами, а также условия их разрешения, определяемые мерой соответствия целевого предназначения сторон. Рассматривая условия конфликта и подходов к его разрешению целесообразно использовать математический аппарат теории

дифференциальных игр. Используя данную теорию нужно понимать, что она позволяет определять только приоритетность использования того или иного сценария для разрешения конфликта и не позволяет сформировать множество состояний сторон при реализации целевого предназначения в пространстве и времени.

Достижение системой целевого предназначения реализуется в трех основных направлениях: реализации целевой функции, обеспечения для реализации целевой функции и защиты системы, подсистемы в условиях реализации целевой функции.

Целевая подсистема предназначена для реализации функций, задач, процессов, направленных на достижение целевого предназначения системы. Подсистема обеспечения предназначена для обеспечения функционирования всей системы и ее подсистем, при этом процессы, выполняемые подсистемой, не направлены на выполнение целевого предназначения, а обеспечивают выполнение таких процессов. Подсистема защиты обеспечивает противодействие воздействию различных ДФ, влияющих на функционирование системы и подсистем и выполняемые ими процессы.

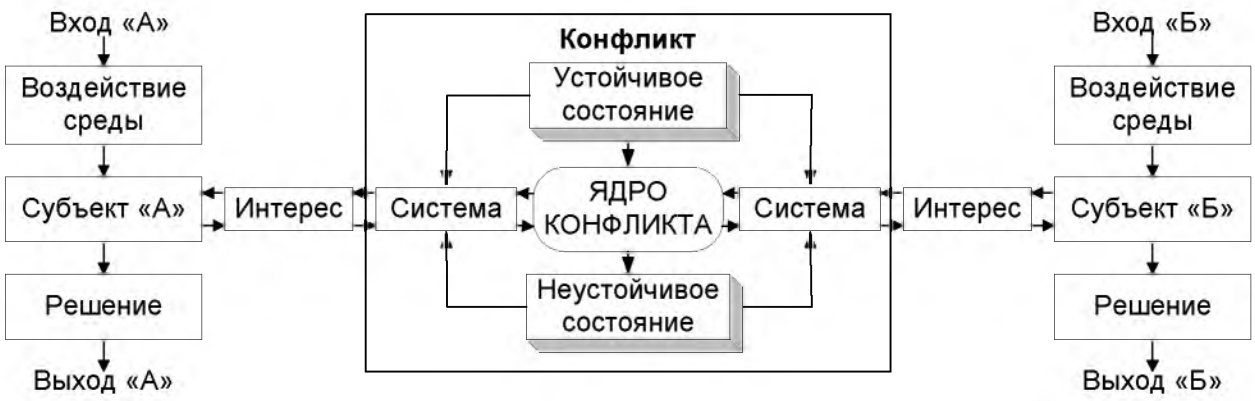



Рисунок 4.3 – Структурная схема разрешения конфликта

Функции целевой подсистемы одной стороны и функции защитной подсистемы другой стороны при возникновении конфликта между сторонами находятся в диалектическом противоречии, так как выполняют противоположные функции. Исходя из предполагаемого подхода для разрешения конфликта двух сторон необходимо сформировать множество требуемых пространственно-временных состояний самой ИУС Q и ее подсистем $Q_{ij}$, эффективность использования которых будет определяться потенциалом поля эффективности $\varphi(r)$.

Мера пересечения района сосредоточения основных усилий (РСОУ)

соответствующих подсистем определяет степень соприкосновения противостоящих подсистем. На множестве пересечений РСОУ формируются отношение потенциала поля эффективности (ППЭ), а на основе выявленных отношений ППЭ на множествах пересечений РСОУ формируется специальное множество и обобщенный ППЭ своими свойствами удовлетворяющие требованиям достижения соответствующими подсистемами заданных уровней потенциальной эффективности применения (функционирования) системы (ЭП). Физически обобщённые ППЭ являются в каждой точке пространства функцией специальной комбинации трёх производительностей (интенсивностей деятельности) соответствующих подсистем соответствующих сторон.

Описание конфликта двух сторон производится в условиях учета следующих моментов:

взаимным пространственно-временным состоянием подсистем противоборствующих сторон;

взаимным развёртыванием подсистем конфликтующих сторон;

взаимным воздействием подсистем конфликтующих сторон;

управлением силами и средствами сторон.

Особенно важным на этапе развертывания соответствующих подсистем для сокращения возможных потерь расчётных значений показателей эффективности является встречное или заблаговременное развёртывание, что позволяет избежать воздействия конкурента (противостоящей стороны) по всем пространственно-временным состояниям доразвертывания компонент соответствующих подсистем в важных частях пространства.

**Управлением силами и средствами сторон**

Под управлением технической системой будем понимать целенаправленную деятельность руководителя, и других ЛПР по поддержанию готовности и способности компонент (сил и средств) системы, подготовке их к решению целевых задач и руководству ими при выполнении этих задач. От качества управления системой (предприятием, фирмой, финансами и др) всегда зависел успех деятельности.

Теория и практика управления развивалась по мере изменения техники, организации и способов действий, но сущность управления оставалась прежней. В данной области науки опубликованы значительное количество фундаментальных трудов. Поэтому в настоящей работе не ставилась цель развивать это направление, а лишь иллюстрируются возможности данного подхода, с одной стороны, как открытой системы, а с другой стороны, как могут реализовываться известные идеи и методы управления через базовые понятия разработанной теории - РСОУ, ППЭ, ЭП.

Сущность управления силами и средствами системы, в итоге, сводится к процессу

формирования и реализации количественных характеристик РСОУ, ППЭ, ЭП, сбалансированных между собой. Если рассматривать математическую сущность проблемы управления, то она сводится к формированию топологического пространства с топологией, задаваемой известным нелинейным оператором интегрального типа.

Нарушение баланса между характеристиками РСОУ, ППЭ, ЭПБ возникает из-за невыполнения условий достижения требуемых значений основными показателями качества целенаправленной деятельности руководителей и их штабов при управлении социально-экономическими и организационно-техническими процессами.

**Типы конфликтов**

Изучая конфликты, необходима определенная классификация конфликтов, рассматриваемых в работе. В общем случае можно рассмотреть внутренние и внешние конфликты системы. Под внутренними конфликтами будет пониматься конфликт внутри системы, между ее подсистемами или в одной подсистеме при изменении внешней или внутренней среды, в условиях которой функционирует система. Под внешним конфликтом будем понимать такой конфликт, который возникает между системой или ее подсистемами и другими системами, подсистемами и объектами.

Для обеспечения процесса функционирования системы и выполнения ее целевого предназначения, в ней выполняются процессы, при этом количество и типы процессов в течение времени могут меняться. Все это может приводить к конфликтам задачам, функциям, целям, требованиям, которые в общем случае можно свести к конфликтам по ресурсу системы. Воздействие на систему различных дестабилизирующих факторов, реализация управляющих воздействий, объектов управления, направленная на перераспределение или изымание ресурсов системы, без изменения целевого предназначения приводят к дефициту ресурса и конфликту по ресурсу в системе.

В процессе функционирования системы осуществляется использование ее ресурсов ЛПР, при этом возникают ситуации коллективного использования одних ресурсов разными ЛПР, а также случаи его перераспределения между процессами системы. В результате формируются два состояния системы:

ШТАТНОЕ - выполнение процесса регламента в установленные нормативные временные сроки при полной обеспеченности проектируемыми плановыми ресурсами системы (рисунок 4.4 а);

НЕШТАТНОЕ - в ходе выполнения регламента системы возникают нештатные воздействия дестабилизирующих факторов, приводящие к невыполнению регламента, потере управления и для устранения которых необходимы дополнительные ресурсы, заранее не предусмотренные проектируемым планом (рисунок 4.4 б).

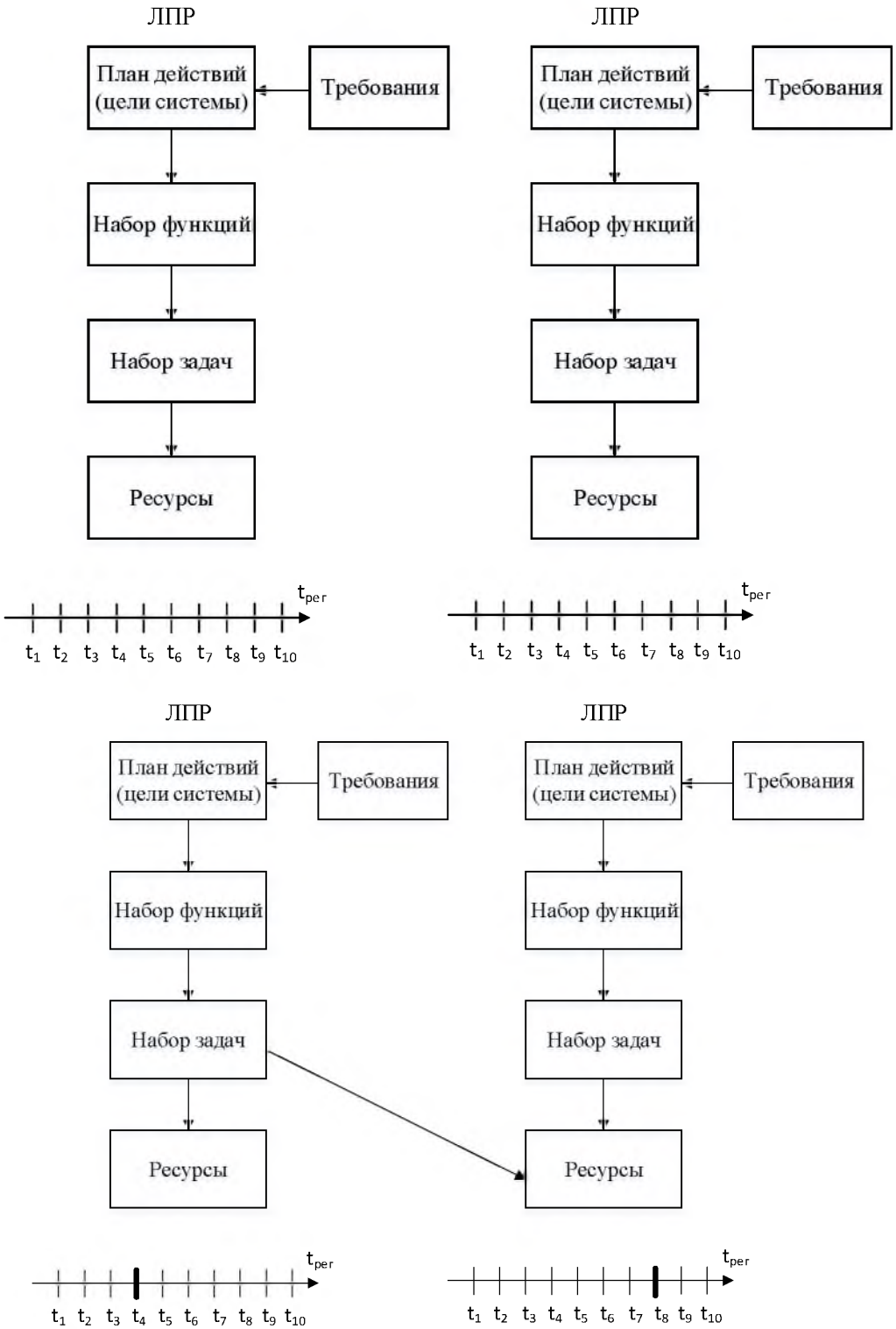



Рисунок 4.4 – Штатное (а) и нештатное (б) состоянии системы ИУС оперативного управления

Нештатные ситуаций возникают из-за усложнения оперативной ситуации, выхода из строя оборудования, воздействия различных факторов, принятия неправильных управленческих решений, не эффективного использования ресурсов системы,

неправильных действий персонала и т.д., что приводит к неполноте информация о состоянии системы [23].

Результатом возникновения нештатной ситуации является возникновение конфликта в системе, между потребностью ЛПР получить результаты выполнения целевого предназначения системы, и состоянием неспособности системы это сделать. Использование одного и того же ресурса системы для выполнения разных регламентов в одно время приводит к конфликту, как показано на рисунке 4.5.

Содержание конфликта в процессе выделения и формирования ресурсов ИУС состоит в следующем. В системе выполнение регламентов осуществляется на основе разработанных заблаговременно штатных планов действий. Возникновение нештатных ситуаций по различным причинам может привести к невозможности выполнения требуемых планов, искажению исходных данных системы о ее возможностях и ресурсном обеспечении.

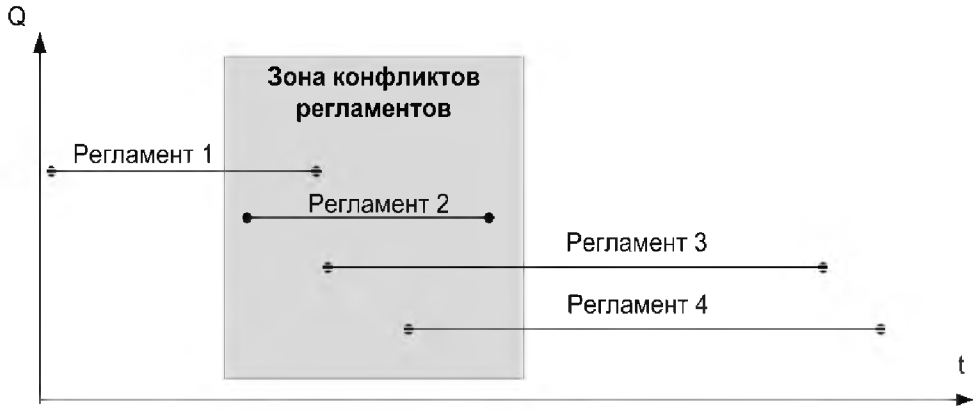



Рисунок 4.5 – Зона конфликтов регламентов

При этом возникают трудности в контуре управления:

ИУС должна адаптироваться к выполнению возложенных на нее задач в условиях изменяющейся обстановки, обмен информацией о состоянии системы и объекта управления в контуре управления;

в условиях быстро меняющейся обстановки и необходимости оперативного принятия решения одним из основных компонентов управления является информационный, поэтому насколько успешно ЛПР использует объективный информационный ресурс, настолько успешно осуществляет управление материальными ресурсами.

Для каждой ИУС исходя из условий ее функционирования будет характерен определенный набор ДФ, приводящих к снижению уровня управления ресурсами, к которым можно отнести человеческий фактор [316]. ПФС можно использовать для

структурирования данных, знаний и причин воздействия на систему и ее элементы, что способствует своевременной реакции системы на возникновение нарушений в системе и реакции на них для выполнения целевого предназначения системы. Обеспечение ФУ возможно при наличие в системе наложенной службы контроля, мониторинга процесса функционирования ИУС и объекта управления, фиксировании событий в системе и формировании базы данных этих событий, что позволит с одной стороны оперативно на них реагирования, а с другой оценивать их влияние на процессы, выполняемые в системе, и ее элементы, а также прогнозировать возможность и стеень выполнения целевого предназначения системы.

### 4.3. Вывод по Главе 4

Метод формирования ПФС представляет собой способ структурно-функциональной формализации системы, позволяющий представить систему в виде совокупности взаимосвязанных матриц. Основное предназначение профиля заключается в использовании его в системе контроля процесса функционирования ИУС. В систему контроля поступает профиль-задания, который выступает в качестве эталона для системы контроля и который должна выполнить ИУС. В процессе функционирования системы формируется профиль процесса функционирования, который определяет текущее состояние системы и выполняемые ее задачи, функции, цели и требования. В системе контроля осуществляется сравнение профилей и определение их отличий, а также последствий отличий профилей, т.е. влияние такого отличия на дальнейшее выполнение системой функций и задач, что будет рассмотрено в следующей главе.

Основным отличие представленного метода от известных является разработка не профиля безопасности для системы, а профиля функционирования системы, позволяющего описывать процесс функционирования системы. Кроме этого, представлена взаимосвязь между структурной системы и процессом ее функционирования в виде матриц, которые могут использоваться в системе контроля. Использование матриц и баз данных характеристик системы существенно снизит вычислительную нагрузку на систему контроля и процесс управления ИУС и ее элементами.

Представленный в работе метод формирования профиля системы может использоваться для выявления критичности элементов системы и ее ресурсов, а также выполняемых ее задач, функций и целей.

# Глава 5. МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ И ОЦЕНКИ КРИТИЧНОСТИ ИУС АН

Значимость управления в любой сфере нашей жизни всегда была и будет высокой [352, 353, 354]. Что такое управление? Управление способность системы, человека, группы людей оказывать воздействие на что-либо, под действием которого происходит изменение состояния управляемого объекта. Рассматривая процесс управления необходимо ответить на вопрос - является управления эффективным, т.е. происходит ли реализация такого воздействия, при котором управляемый объект переходит в требуемое состояние, а не какое-то из множества его возможных состояний. Любой цикл управления в своем составе, помимо воздействия на управляемый объект [355, 356], всегда имеет действия по сбору и обработке информации [320, 357, 358], при этом эффективность управления, часто зависят от наличия и качества истиной информации, необходимой для принятия решения и осуществления управленческих действий [23, 65, 302, 319, 359]. Отсутствие информации о состоянии системы и окружающей обстановке, недостаточное ее количество или качество приведут к снижению эффективности управления или принятию неправильных решений [360, 361].

Повсеместная цифровизация и информатизация многих сфер жизни общества дает множество возможностей по реализации потребностей общества, систем и человека, однако при всем при этом, общество становится зависимым от них. Невозможность реализации своих функций может привести к тяжелым последствиям [301, 302]. Все это приводит к возрастанию значимости таких функций, возникновению их критичности для различных сфер жизни общества, систем, сетей, предприятий, отдельных отраслей экономики, ведомств и государства. Несомненно, критическое значение приобретает и инфраструктура, позволяющая реализовывать критически значимые функции. При этом рассматривая критичность, как понятие присущее элементам государства, необходимо помнить, что значение инфраструктуры велико, но критичность обусловлена реализацией этой инфраструктуры своего функционала. Непрерывность, безопасность и устойчивость функционирования ИУС определяют актуальность разработки метода определения критичности ИУС ее элементов. Хочется отметить, что с развитием технологий, созданием новых образцов техники, внедрении новых технологий в нашу жизнь, значение ИУС будет только возрастать.

Рассматривая ИУС, ее критичность и критичность ее элементов необходимо обратиться к ФЗ № 187 от 26 июня 2017 года «О безопасности критической

информационной инфраструктуры Российской Федерации». Законом определена необходимость категорирования ОКИИ, к которым относятся ИС, АСУ, инфотелекоммуникационные сети, которые являются элементами ИУС. Категория значимости определяет перечень средств защиты, необходимых для устойчивого и безопасного функционирования объекта, однако отсутствует категорирование элементов КИИ, влияющих на его категорию значимости, и в конечном итоге позволяющая ее определить.

Устойчивость современных технических систем рассматривается, как величина, характеризуемая только надежностью, живучестью, помехоустойчивостью и киберустойчивостью [24, 28-30, 32, 34], I. Linkov [36]. В некоторых работах оценка устойчивости осуществляется использованием комплексного показателя, включающего ее отдельные величины. Анализ работ по устойчивости показал, что основным математическим аппаратом для оценки устойчивости сложных систем является теория вероятности, при этом значения показателей ее носят усредненный вероятностный характер. Такой подход не учитывает время функционирования системы, происходящие в ней отказы, нарушения функционирования и прекращение выполнения системой своих функций, а также не учитывает время необходимое системе для реакции на отклонения функционирования и восстановление ее функциональной устойчивости. При этом, нарушение части таких функций приведет к снижению ФУ системы, аналогично, как и нарушение работоспособности, невозможности использования элементов системы. Такие элементы являются критически значимыми для процесса функционирования системы и/или ее структуры. Возникает необходимость оценки критичности элементов системы для нее, а также оценки значимости системы для государства, предприятия, организации, других систем и объектов.

Первым этапом разработки такого подхода является разработка метода определения критичности элементов системы на основе предикативного анализа функционирования системы. Метод строится на математическом аппарате теории графов, теории матриц, метода иерархических решений.

Критерии оценки важности того или иного объекта зависят от выполняемых ими задач. Исходя из этих критериев определяется категория значимости объекта, его важность. Кроме этого, зависимость системы от него определяет критичность этого объекта для нее. Говоря о критичности объектов мы должны понимать, что один и тот же объект для одних систем критичен, а для других нет. Кроме этого, рассматривая несколько объектов в системе можем ли мы говорить о том, что один объект более критичен, чем другой. Возникает необходимость ранжирования объектов (элементов), входящих в систему.

Подходов к ранжированию различных объектов много, однако подходов к определению критичности ИУС и ее составляющих, учитывающих критичность ее элементов нет. Это определяет актуальность рассматриваемого вопроса.

Рассматривая критичность в любой системе нужно понимать, что она зависит от типа системы, выполняемых ее задач, совокупности элементов в ней, их связей и выполняемых ими задач, однако подход к выявлению критичности для ИУС может быть общий [364, 365], при этом, с течением времени она может меняться самостоятельно или под воздействием на нее различных факторов, в том числе управляющих воздействий. Существуют системы, объекты, элементы, задачи, функции критичность которых с течением времени меняться не будет. Можно выделить динамическую и статическую критичность в системе [68, 366-368].

Критичность – свойство объекта, системы, элемента характеризующее степень последствий нарушения его (ее) устойчивого функционирования, которое может привести к потере управления, нанести ущерб жизни и здоровью граждан, интересам организации, государства, окружающей среде, безопасности, обороноспособности государства, а также привести к другим тяжелым последствиям.

Динамическая критичность – критичность, изменяемая во времени, в зависимости от выполняемых задач и функций объекта, условий в которых он функционирует.

Статическая критичность – критичность объекта, системы, элемента присущие им постоянно.

Структура метода

На основании исходных данных о ресурсном обеспечении системы, ее профиля функционирования, выступающего в виде целевого предназначения системы на определенный интервал времени, а также требований, предъявляемых к системе, ее элементам и процессу ее функционирования выделяют совокупность задач, функций, требований, целей системы, позволяющих выполнить целевое предназначение. При определении ресурса системы, необходимого для выполнения каждых задачи, функции, цели строят функциональную характеристику системы, определяющую зависимости между этими элементами. В процессе функционирования системы каждая задача, функция, цель могут быть представлены в виде регламентов, выполнение которых описывается ресурсом, временем и собственно действиями – задачей, функцией, целью.

Основными этапами метода определения и оценки критичности элементов ИУС, как объекта КИИ, являются (рис. 5.1)

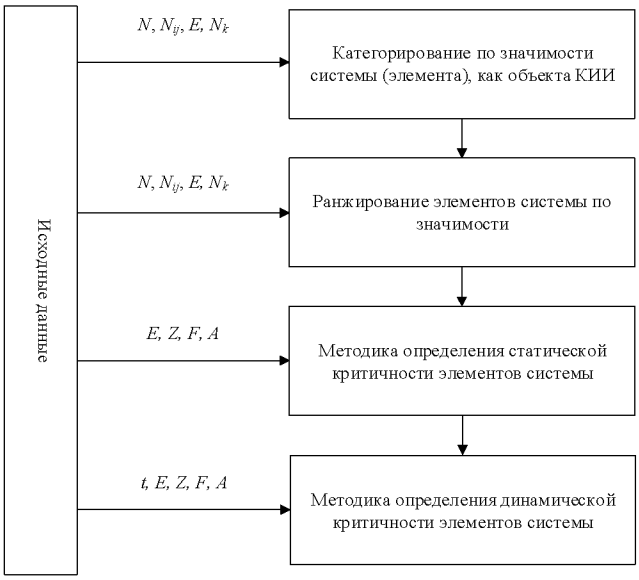



Рисунок 5.1 – Структура метода определения и оценки критичности ИУС

На первом этапе на основании предназначения объекта КИИ определяется ее категория значимости, в соответствии с ФЗ № 187. Результатом категорирования является определение одной из трех категорий значимости для объекта в соответствии с областью его применения.

На втором этапе на основании исходных данных, характеризующих процесс функционирования системы, производится ранжирование элементов системы по предложенным показателям.

Ранжирование объектов ИУС будем проводить по следующим показателям:

структурная значимость, важность для структуры всей системы;

функциональная значимость, выполнение объектов, возложенных на него задач, для обеспечения функционирования системы;

топологическая значимость, размещение объектов на местности, для обеспечения выполнения предназначения системы;

организационная значимость, принадлежность объекта элементу ИУС;

психологическая значимость, устойчивость личного состава, обеспечивающего устойчивое функционирование объекта, системы;

значимость для экономики, нарушение устойчивого функционирования объекта системы приводящая к материальным потерям;

значимость престижа для владельца ИУС;

социальная значимость, нарушения устойчивого функционирования объектов;

экологическая значимость, нарушение функционирования объекта, приводящее к нанесению ущерба экологии.

На третьем этапе на основании профиля функционирования системы определяется статическая значимость (критичность) каждого элемента, входящего в систему. В качестве элементов системы, рассматриваемых для определения значимости выступают структурная и функциональная характеристики системы. Исходя из потребностей ЛПР в выполнении ИУС определенного целевого предназначения, формализованного в профиле функционирования системы, состоящем из ресурсов системы, задач, функций, требований и целей, определяются значимые для системы функциональные элементы, влияющие на выполнение профиля.

На четвертом этапе основании профиля процесса функционирования системы определяется динамическая значимость (критичность) каждого элемента, входящего в систему.

**Постановка задачи**

Пусть заданы:

ИУС, описываемая графом $G$, состоящим их множества элементов системы $N$ и связей между ними $N_{ij}$;

множество технических средств $N_k$, находящихся на элементах ИУС;

профиль функционирования ИУС в виде набора ресурсов $E$, задач $Z$, функций $F$, целей $A$ системы и требований $T$, предъявляемых к ней.

**Показатели и критерии, ограничения и допущения, принятые в подходе.**

**Показателем** критичности элементов системы будут:

коэффициент статической функциональной критичности элемента системы;

коэффициент динамической функциональной критичности элемента системы;

коэффициент общей критичности элемента системы;

коэффициент общей критичности ИУС;

**Критерием**:

$0{,}9 \le K_Z \le 1$ – критичный элемент, при $t = t_1$ или $t = \infty$;

$0{,}7 \le K_Z < 0{,}9$ – частично критичный элемент, при $t = t_1$ или $t = \infty$;

$0{,}2 \le K_Z < 0{,}7$ – относительно критичный элемент, при $t = t_1$ или $t = \infty$;

$K_Z < 0{,}2$ – некритичный элемент, при $t = t_1$ или $t = \infty$.

**Допущения и ограничения**:

структура ИУС задана и неизменна в течение времени ее функционирования;

линии связи между элементами ИУС обладают известной и достаточной пропускной способностью. Они подвержены воздействию противоборствующей стороны с вероятность $P_{\text{возд}}$;

воздействия, приводящие к нарушению структуры системы, т.е. удаление элементов

и линий связи не рассматриваются;

элементы ИУС характеризуются требуемой производительностью;

ИУС имеет ограниченный ресурс, позволяющий варьировать параметры элементов.

Результатом применения метода формирования профиля функционирования ИУС будет множество характеристик, описывающих систему, в первую очередь, характеризующую ее функционирование, т. е. выполнение системы функций, задач и ее целевого предназначения.

Модель ИУС представляется в виде структурной и функциональной частей. Структурная часть, характеризуется графом, описывающим связи между элементами системы (рис. 3.23), который описывается матрицей связности элементов системы. Квадратная матрица, показывает наличие связи между элементами системы.

Для описания системы предлагается использовать взаимосвязанные матрицы, характеризующие цели, требования, функции, задачи и ресурсы системы. Квадратные матрицы позволяют определять зависимые элементы (цели, требования, функции, задачи и ресурсы), т.е. при их взаимовлиянии на пересечении присутствует символ – «1», иначе символ «0». Другие матрицы описывают зависимости цель-требование, требование-функция, функция-задача, задача-ресурс. На пересечении $A_a$ цели и требования ее обеспечивающего фиксируется символ «1», не обеспечивающего – «0». Простейшим элементом функционального описания системы является задача, элементарное действие, выполняемое системой (ее элементов), которое обеспечено одним ресурсом в течении заданного времени.

## 5. 1. Методика категорирования ИУС АН, как объекта КИИ

С первого января 2018 года вступил в силу ФЗ № 187 от 26 июня 2017 года «О безопасности критической информационной инфраструктуры Российской Федерации». Субъекты КИИ осуществляют присвоение одной из категорий значимости объектам КИИ. Сведения о присвоении или отсутствии такой необходимости субъекты КИИ предоставляют в федеральный орган исполнительной власти. Деление объектов КИИ осуществляется согласно критериев значимости. В ФЗ 187 определено четыре критерия отнесения объектов к КИИ: социальная, политическая, экологическая значимости и значимость для обеспечения обороны страны, безопасности государства и правопорядка. Кроме этого каждый показатель делится на три категории. Категорирование критически важных объектов имеет целью определение перечня средств защиты для обеспечения устойчивого функционирования такого объекта.

На практике специалисты, занимающиеся категорированием объектов КИИ тратят много времени на этот процесс, при этом его можно сократить примерно на 15-20 % за счет автоматизации процесса и наличия исходных данных об объекте категорирования. Для категорирования и оценки показателей критериев значимости возможно использовать программные продукты, алгоритм работы которых основан на выполнении ФЗ № 187 и Постановления Правительства от 8 февраля 2018 года № 127 «Об утверждении Правил категорирования объектов критической информационной инфраструктуры Российской Федерации, а также перечня показателей критериев значимости объектов критической информационной инфраструктуры Российской Федерации и их значений». Основной целью категорирования ОКИИ является присвоение ему категории значимости и перечень мер, приминение которых позволит обеспченить его устойчивое и безопасное функционирование.

Для проведения категорирования объектов КИИ решением руководителя субъекта КИИ создается постоянно действующая комиссия по категорированию. В состав комиссии включают руководителя субъекта КИИ (уполномоченное им лицо), работников субъекта КИИ, являющихся специалистами в области выполняемых функций объекта КИИ или осуществляемых видов деятельности, и в области информационных технологий и связи, а также специалисты по эксплуатации основного технологического оборудования, технологической (промышленной) безопасности, контролю за опасными веществами и материалами, учету опасных веществ и материалов, работники субъекта КИИ, на которых возложены функции обеспечения безопасности объектов КИИ, работники подразделения по защите государственной тайны, если на объекте она обрабатывается, работники структурного подразделения по гражданской обороне и защите от чрезвычайных ситуаций. В состав комиссии могут включаться представители государственных органов и российские юридические лица, выполняющие функции по разработке, проведению или реализации государственной политики и (или) нормативно-правовому регулированию в области обеспечения безопасности КИИ, а также работники финансово-экономического подразделения организации и других ее подразделений.

Сформированная комиссия может быть расформирована, если субъект КИИ прекращает деятельность в социальной, политической, экологической сферах, а также в области обеспечения обороны страны, безопасности государства и правопорядка или при ликвидации, реорганизации субъекта КИИ, при которых были утрачены признаки субъекта КИИ.

Для категорирования, как правило, используются следующие исходные данные:

основные сведения об ОКИИ (назначение, архитектура объекта, применяемые

программные и программно-аппаратные средства, взаимодействие с другими ОКИИ, наличие и характеристики доступа к сетям связи) [ 336, 365, 366];

основные сведения о управленческих, технологических, производственных, финансово-экономических и (или) иных процессах, в рамках выполнения функций (полномочий) или осуществления видов деятельности субъекта КИИ [360, 369];

состав информации, обрабатываемой ОКИИ, сервисы по управлению, контролю или мониторингу, предоставляемые объектами критической информационной инфраструктуры [300, 357, 358];

основное содержание декларации промышленной безопасности опасного производственного объекта, декларации безопасности гидротехнического сооружения и паспорт безопасности объекта топливно-энергетического комплекса в случае, если на указанных объектах функционирует ОКИИ;

сведения о взаимодействии ОКИИ с другими ОКИИ и (или) о зависимости функционирования ОКИИ от других таких объектов;

перечень угрозы безопасности информации в отношении ОКИИ, а также имеющиеся данные, в том числе статистические, о компьютерных инцидентах, произошедших ранее на ОКИИ соответствующего типа [365, 371].

Методика включает три последовательно выполняемых этапа [66, 371, 372]. На первом этапе:

1. Определяется перечень процессов, в рамках выполнения функций или осуществления видов деятельности объектов управления (управленческие, технологические, производственные, финансово-экономические и др.).

2. Проводится выборка из полученного перечня тех процессов, которые являются критическими, нарушение или прекращение которых может привести к негативным социальным, политическим, экономическим, экологическим последствиям, последствиям для обеспечения обороны страны, безопасности государства и правопорядка.

3. Определяется перечень объектов, обрабатывающих информацию необходимую для обеспечения выполнения критических процессов, осуществляющих управление, контроль и мониторинг элементов системы.

4. Формируется перечень объектов, подлежащих категорированию. Перечень объектов утверждается руководителем организации, в собственности которой находятся объекты (осуществляют эксплуатацию).

На втором этапе выполняется следующий перечень работ:

1. Оценка возможностей нарушителей и их возможных действий направленных на объекты, источников угроз безопасности. Анализ угроз, которые могут привести к нарушениям безопасности объектов.

2. Оценка в соответствии с перечнем показателей критериев значимости масштаба возможных последствий нарушения (прекращения) функционирования объекта, невыполнению целей, требований, функций и задач.

3. Присвоение объекту одной из категорий значимости, либо принятие решения об отсутствии необходимости присвоения им одной из категорий значимости.

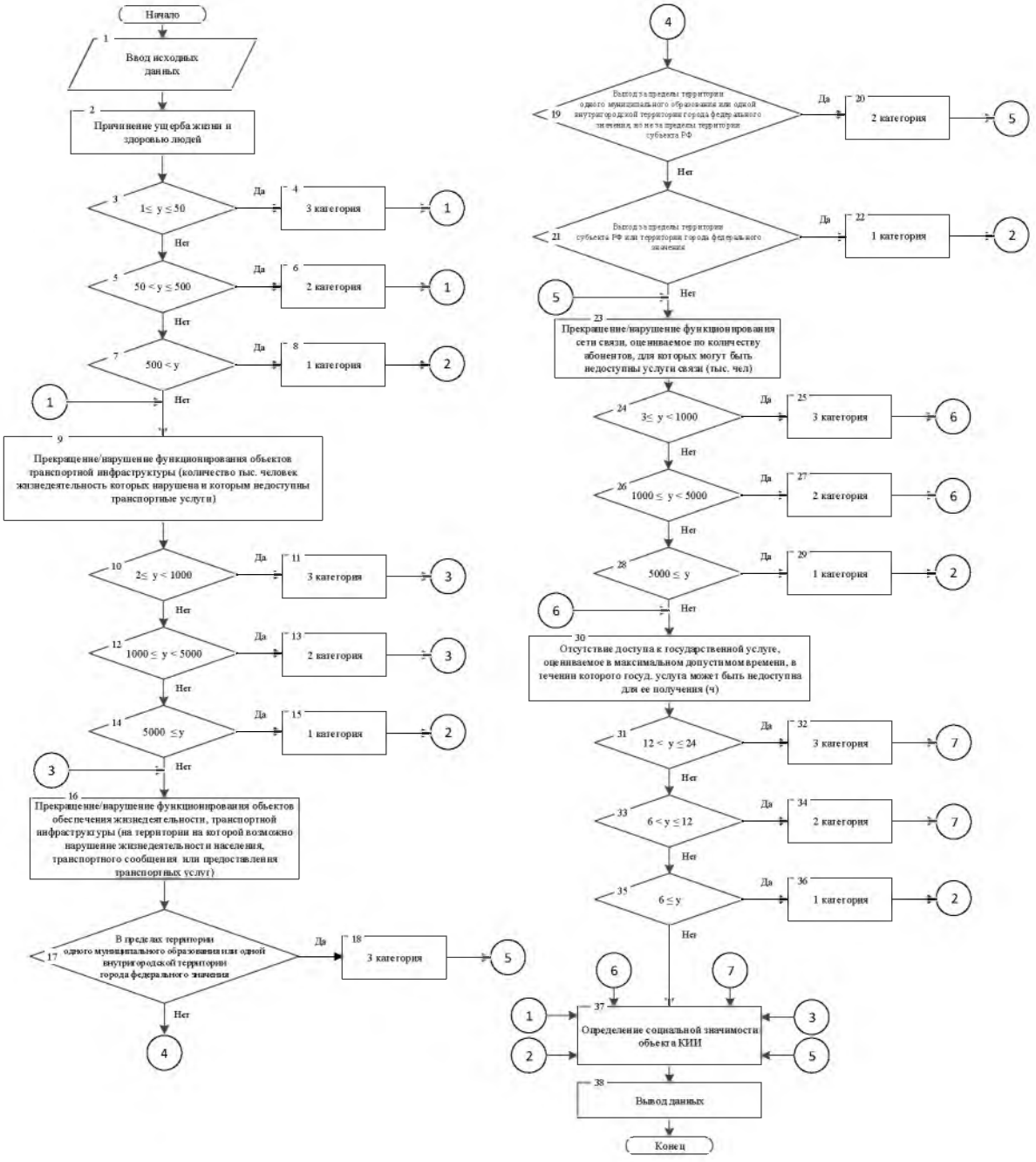



Рисунок 5.2 – Алгоритм определения социальной значимости объекта КИИ

2. Оценка в соответствии с перечнем показателей критериев значимости масштаба возможных последствий нарушения (прекращения) функционирования объекта, невыполнению целей, требований, функций и задач.

3. Присвоение объекту одной из категорий значимости, либо принятие решения об отсутствии необходимости присвоения им одной из категорий значимости.

На третьем этапе:

1. Оценивается необходимость категорирования вновь создаваемых объектов и уже существующих объектов, у которых появляются новые свойства и связи с другими объектами.

2. Анализируются новые угрозы со стороны нарушителей, которые могут привести к нарушению (прекращению) функционирования объекта, невыполнению целей, требований, функций и задач.

Результаты работы комиссии по категорированию объектов КИИ оформляются в бумажном и электронном виде. Решение комиссии по категорированию объектов КИИ оформляется актом. Акт подписывается членами комиссии и утверждается руководителем субъекта КИИ. В акте указываются сведения об объекте КИИ и категория его значимости, или сведения об отсутствии категории значимости.

Определении категории социальной значимости для объектов КИИ включает пять этапов, представленных на рисунке 5.2. Для определения ущерба жизни и здоровью оценивается потенциальное количество людей, которые пострадают в случае нарушения функционирования объекта КИИ. Определяется количество безвозвратных потерь $N_{бв}$ и количество санитарных потерь (получивших ущерб здоровью) $N_{сан}$, их сумма показывает количество людей, которые могут пострадать. При расчете потерь необходимо учитывать степень влияния нарушения функционирования объекта на людей, находящихся на объекте (смены, графики работы, численность находящихся на объекты в разное время суток и т.д.), а также влияния нарушения функционирования объекта на людей близлежащих населенных пунктов.

При оценке влияния прекращения/нарушения функционирования объектов жизнеобеспечения населения производится анализ невыполнения/нарушения выполнения функций объекта КИИ, влияющих на удовлетворение потребностей жизнедеятельности населения, для чего определяется количество людей, зависящих от функционирования объекта КИИ, выявляют процессы обеспечения водо-, тепло-, газо-, электроснабжения, доставки продовольствия, обеспечения связи и управления и контроля этих процессов и т.д.

Зависимость населения, проживающего на определенной территории, от функционирования транспортной инфраструктуры и ее объектов позволяет проводить оценку влияния нарушения их функционирования.

Невозможность определенного количества абонентов системы и сетей связи получать услугу связи, как и время отсутствия доступа у населения к получению государственных услуг позволяют оценивать социальную значимость ОКИИ.

Оценка политической значимости объекта КИИ осуществляется в соответствии с алгоритмом, представленным на рисунке 5.3, на основании оценки возможности государственного органа, администрации Президента РФ, Правительства РФ, Федерального собрания РФ, Совета Безопасности РФ, Верховного и Конституционного судов РФ, выполнять возложенные на них функции.

Оценка экономической значимости объекта КИИ осуществляется в соответствии с алгоритмом, представленным на рисунке 5.4. Данная оценка проводится на основании статистических (прогнозируемых) данных за определенный период времени в количественном эквиваленте совершенных операций или годового объема доходов. Данный критерий оказывает существенное влияние на экономику страны в целом, а также на процесс функционирования объектов КИИ, подверженных воздействию различных ДФ, наибольшую опасность для которых представляют компьютерные атаки.

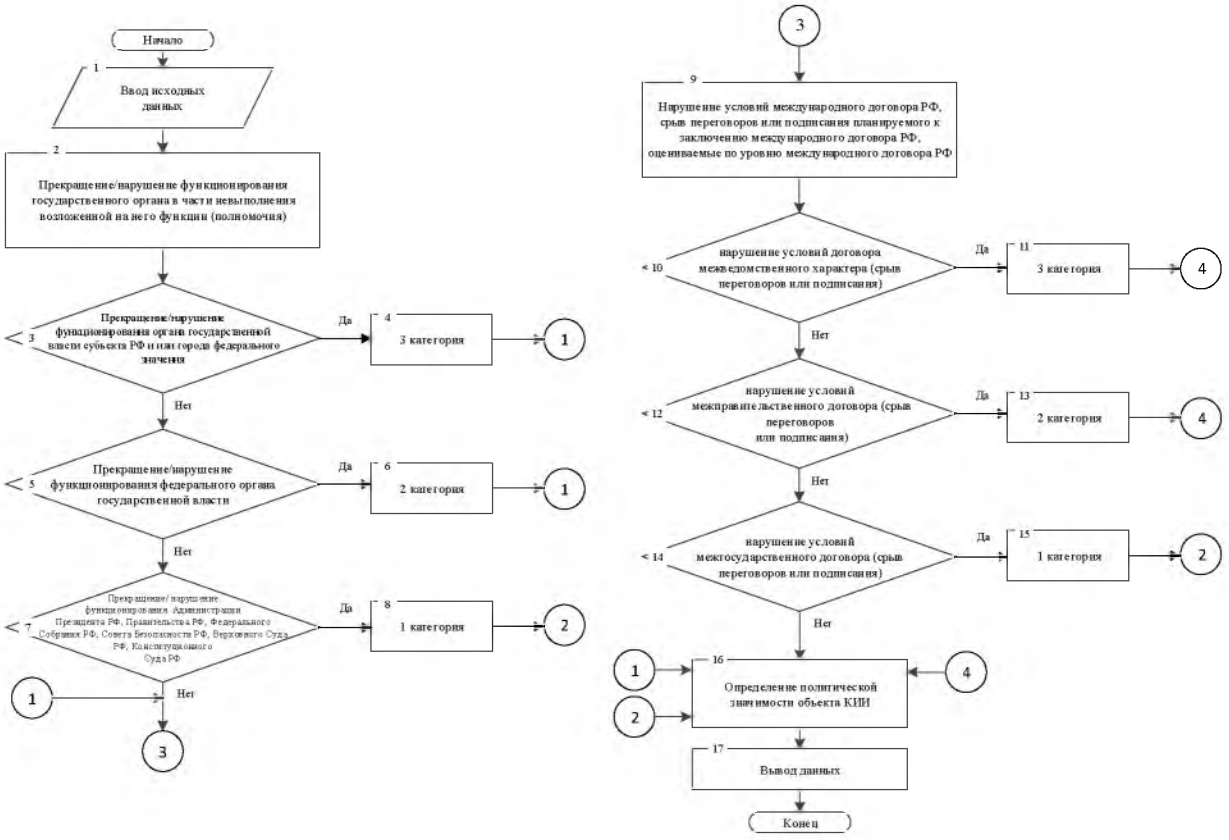



Рисунок 5.3 – Алгоритм определения политической значимости объекта КИИ

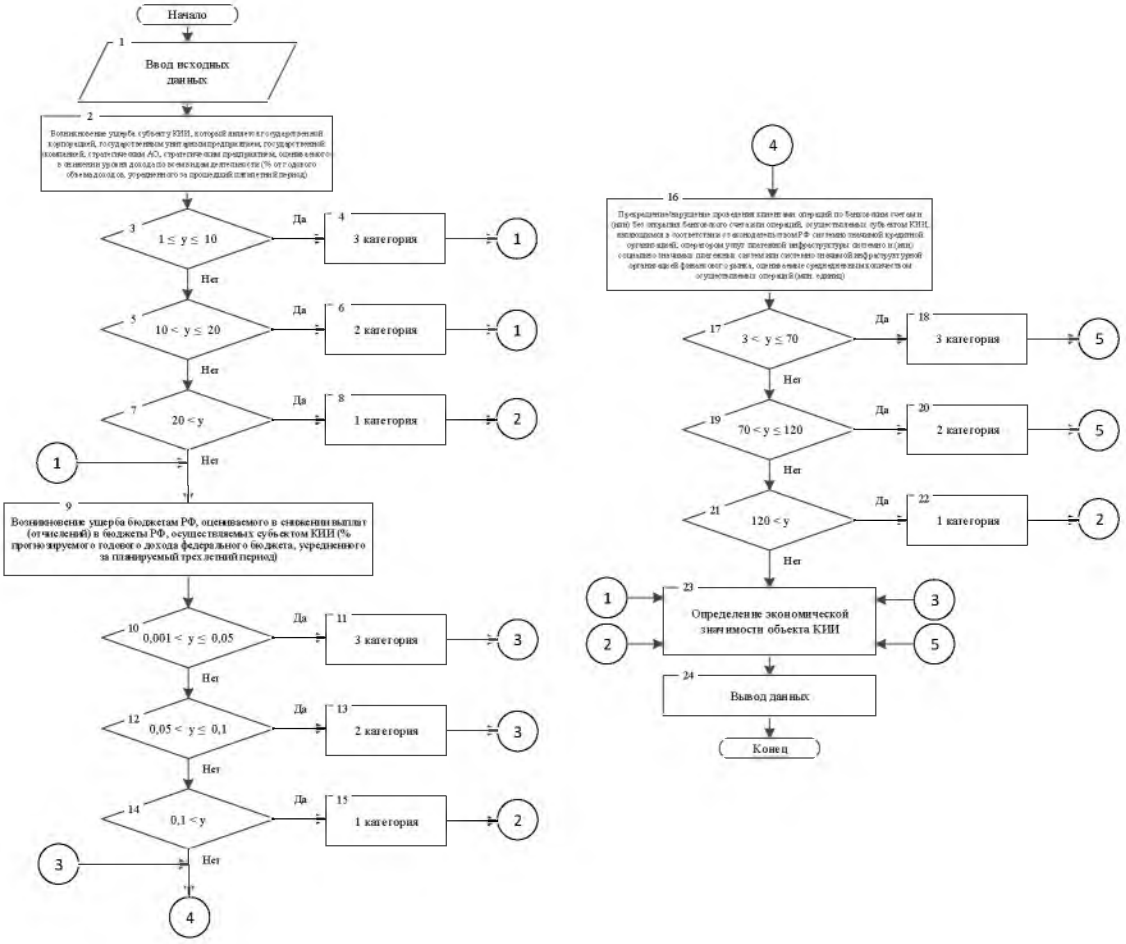



Рисунок 5.4 – Алгоритм определения экономической значимости объекта КИИ

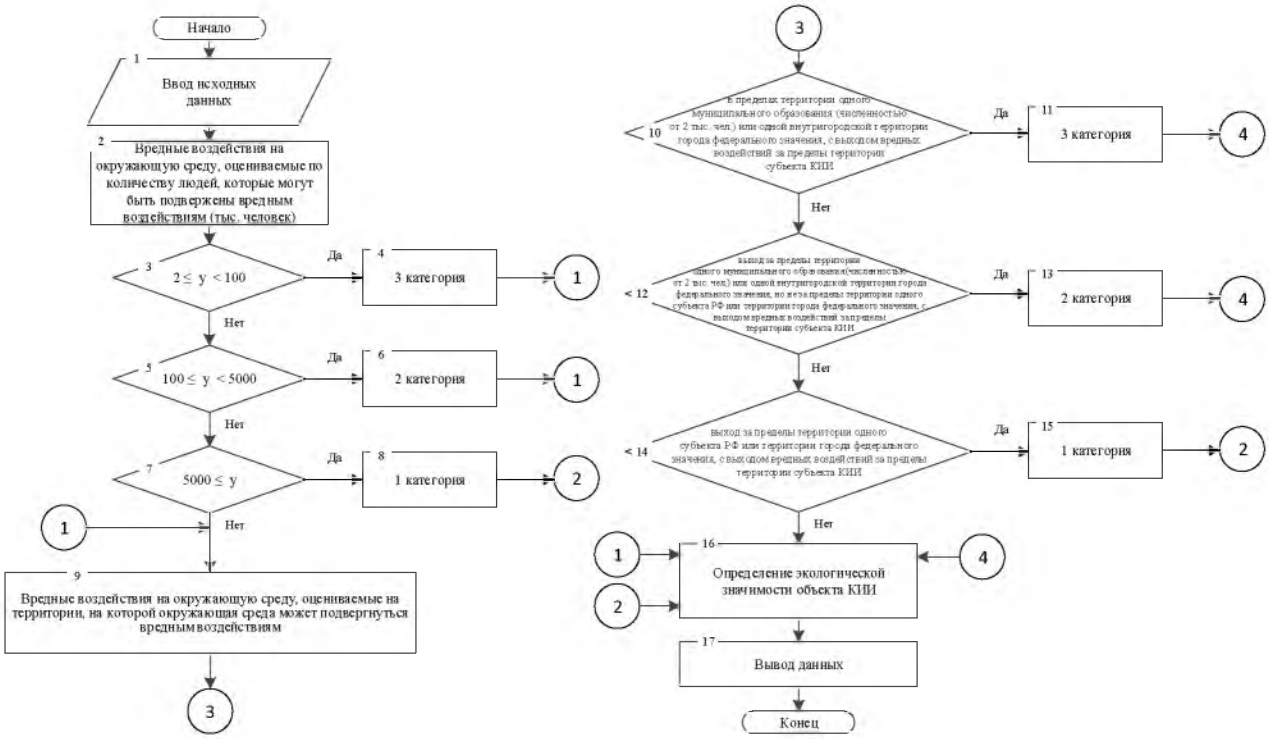



Рисунок 5.5 – Алгоритм определения экологической значимости ОКИИ

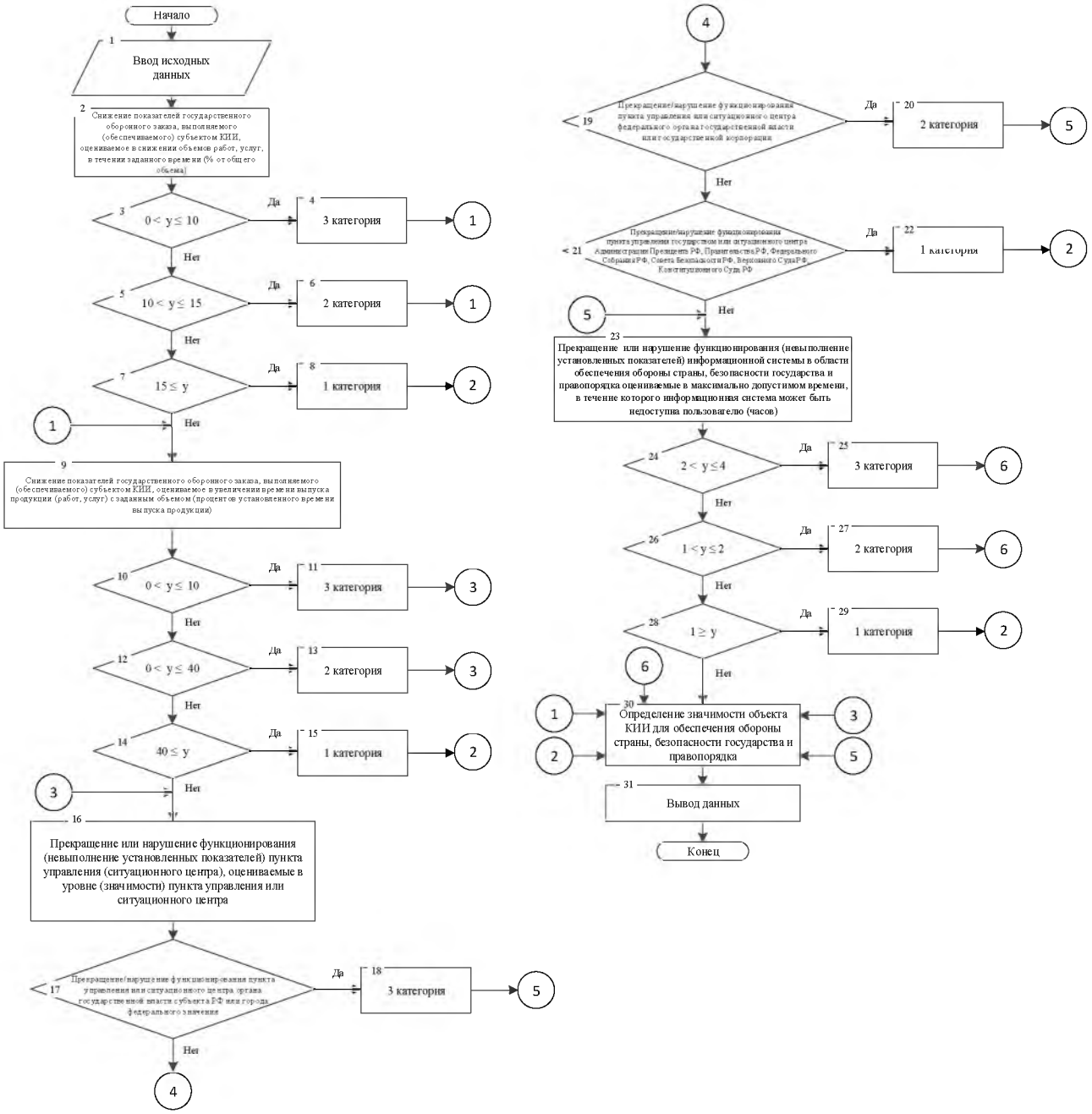



Рисунок 5.6 – Алгоритм определения значимости объекта КИИ для обеспечения обороны страны, безопасности государства и правопорядка

Оценка экологической значимости объекта КИИ производится на основании алгоритма, представленного на рисунке 5.5. Показателем экологической значимости объекта является потенциальное вредное воздействие, оказываемое на население (количество людей) и окружающую среду на определенной территории РФ. По решению комиссии по категорированию экологический ущерб от нарушения функционирования объекта КИИ может приниматься равным ущербу от аварий, в сценарии которых участвует объект КИИ, приведенному в декларации промышленной безопасности, паспортах

безопасности или других документах, разработанных для объекта КИИ или объектов, функционирующих на его территории.

Значимость объекта для обеспечения обороны страны, безопасности государства и правопорядка осуществляется определяется на основании алгоритма, представленого на рисунке 5.6. Основными критериями оценки значимости объекта являются процентное снижение гособоронзаказа, нарушение функционирования пунктов управления ситуационных центров различных уровней, а также отсутствие доступа к услугам информационных систем в течении определенного времени.

Рассматривая объекты КИИ и их категории значимости необходимо учитывать влияние нарушения функционирования сетей и систем связи, которые обеспечивают функционирование таких объектов, при этом категория значимости такой сети (системы) связи должна соответствовать категории значимости объекта КИИ.

Максимальная значимость по любому из критериев, определенных ФЗ №187 от 26.07.2017 года определяет общую категорию значимости ОКИИ, которая присваивается на основе результатов работы комиссии по категорированию.

Оценка категории значимости ОКИИ, для которого установлено более одного значения такого показателя категории значимости, осуществляется для каждого показателя и критерия, а общая значимость определяется по наивысшей категории.

Объекту, в отношении которого проводится процедура категорирования категория значимости, не присваивается, если ни один из показателей не применим, или по критериям показателей объект не соответствует ни одной из категорий.

## 5.2. Ранжирование элементов ИУС АН

Категорирование объектов КИИ представленное в законе является общим и определяет те сферы экономики, объекты в которых являются значимыми, однако для многих объектов, исходя из их предназначения, структуры, необходимо рассматривать и другие критерии оценки их значимости (критичности). При этом, различные элементы системы по-разному влияют на процесс функционирования системы. Для определения степени влияния каждого элемента системы предлагается проводить процедуру ранжирования. Под ранжированием будем понимать расстановку элементов системы по рангу, признакам значимости, масштабности [363, 373]. Основанием ранжирования будем понимать одно или несколько свойств объекта, по которым происходит упорядочение. Ранговый коэффициент значение, выраженное математически или аналитически, характеризующее основание ранжирования объекта.

**Аксиома.** Для любой системы управления существует как минимум один элемент системы нарушение функционирования, которого приведет к невыполнению профиля функционирования системы.

Для ранжирования элементов ИУС необходимо рассмотреть ее структуру. В общем случае под системой понимается совокупность взаимосвязанных элементов, предназначенных для решения какой-либо задачи.

**Постановка задачи**

Пусть заданы:

ИУС, описываемая графом $G$, состоящим их множества элементов системы $N$ и связей между ними $N_{ij}$;

множество технических средств $N_k$, находящихся на элементах ИУС;

профиль функционирования ИУС в виде набора ресурсов $E$, задач $Z$, функций $F$, целей $A$ системы и требований $T$, предъявляемых к ней.

**Показатели и критерии, ограничения и допущения, принятые в подходе.**

**Показателем** оценки ранга элементов системы будут:

коэффициент ранжирования системы (элемента);

средний коэффициент ранжирования системы (элемента).

**Критерием**:

$k_{\text{р ср}} \geq 0{,}85$ высокий ранг;

$0{,}85 < k_{\text{р ср}} \leq 0{,}5$ – средний ранг;

$0{,}5 < k_{\text{р ср}} \leq 0{,}1$ – малый ранг.

При получении значения коэффициента ранжирования менее 0,1 системе (элементу) присваивается значение ранга 0,1.

Ранжирование элементов ИУС будем проводить по следующим показателям [303, 374, 375]:

структурная значимость, важность для структуры всей системы;

функциональная значимость, выполнение объектов, возложенных на него задач, для обеспечения функционирования системы;

топологическая значимость, размещение объектов на местности, для обеспечения выполнения функционала системы;

организационная значимость, принадлежности объекта структурному элементу системы;

психологическая значимость, устойчивость личного состава, обеспечивающего устойчивое функционирование объекта, системы;

значимость для экономики, нарушение устойчивого функционирования объекта системы приводящая к материальным потерям;

значимость престижа для организации;

социальная значимость, нарушение функционирования объекта, приводящее к нанесению ущерба в социальной сфере;

экологическая значимость, нарушение функционирования объекта, приводящее к нанесению ущерба экологии региона, государства.

Для определения ранга элемента ИУС оценивается его значимость по каждому показателю, характеризующему объект. Каждый показатель будет составным.

Для ранжирования используются свойства объекта, его характеристики, которые имеют существенное значение для исследуемого процесса или явления. В работе под ранжированием будем понимать распределение, упорядочение элементов системы в зависимости от их ранга, признака значимости, масштабности. Ранговый коэффициент значение, выраженное математически или аналитически, характеризующее основание ранжирования объекта.

Процесс ранжирования может осуществляться с использованием методов расстановки приоритетов, моделирования, оценки экспертов (методы ранжирования, приписывания баллов, формальные), анализа иерархий, интуитивно-рациональный (эвристический), согласования по критериям, с использованием формул Фишберна, натурных экспериментов, и т. д.

Использование имитационных и аналитических моделей характерно для методов логико-вероятностного моделирования. Процесс моделирования и последующее ранжирование включает три этапа:

построение модели системы, как правило, представляющей собой граф, состоящий из вершин – элементов системы, ребер - связей между ними;

осуществление воздействия на вершины и ребра графа с целью определения из них наиболее уязвимых и значимых для системы;

определение значимости вершин и ребер графа для системы и степени их влияния на её функционирование.

Ранжирование объектов (элементов) системы базирующееся на здравом смысле и интуиции экспертного лица является основой эвристического метода. Этот метод нашел широкое применение на практике, часто из-за отсутствия возможности использовать точные математические методы. Главной его особенностью является необходимость поиска требуемого количества компетентных экспертов в исследуемой области, опыт которых величина тяжело оцениваемая.

Метод экспертных оценок, похож на эвристический. Применение данного метода для ранжирования элементов системы характеризуется формированием списка элементов (объектов) системы, подлежащих ранжированию, критериев и показателей оценки ранга элементов исследуемой системы, а также подбором эксперта или группы экспертов, которые будут осуществлять процесс оценки. Эксперту предлагается по каждому критерию осуществить ранжирование элементов по заданной шкале, при этом, как правило, присвоение различным элементам одинакового ранга для одного эксперта не допускается.

Метод непосредственного определения и усреднения экспертных оценок (метод приписывания баллов), как и два предыдущих метода, характеризуется привлечением для оценки компетентных экспертов. Оценка осуществляется с использованием специальных шкал, значения в которых могут быть целочисленными, дробными. Этот метод допускает присвоение разным оцениваемым объектам одинакового ранга (балла).

Достоверность полученных результатов при использовании методов с привлечением экспертов всегда будет зависеть от множества факторов, определяющих из которых являются компетентность экспертов в исследуемой области, их количество, качество и количество вопросов для осуществления оценки. Представленные выше выражения не учитывают компетентность эксперта, поэтому для ее оценки можно использовать коэффициент компетентности эксперта, сумма которых для всех экспертов равна единице.

При использовании метода анализа иерархий (метод парных сравнений) подразумевает построение квадратной, обратной матрицы сравнений. Каждый показатель (критерий) важности, записанным в строку сравнивают с показателем (критерием) важности записанным в столбец и записывают значения элементов матрицы, которые характеризуются степень важности (критичности) одного критерия над другим. Для этого, например отображают следующие степени важности (шкала Саати):

1 – показатели имеют одинаковый вес;

2 – показатель строки слегка предпочтительнее, чем показатель столбца;

3 – показатель строки средне предпочтительнее, чем показатель столбца;

4 – показатель строки выше среднего предпочтительнее, чем показатель столбца;

5 – показатель строки умеренно сильнее предпочтительнее, чем показатель столбца;

6 – показатель строки сильно предпочтительнее, чем показатель столбца;

7 – показатель строки очень сильно предпочтительнее, чем показатель столбца;

8 – показатель строки максимально сильно предпочтительнее, чем показатель столбца;

9 – показатель абсолютно полностью доминирует над показателем столбца.

Методы с использованием формулы Фишберна [376] применяются, если показатели уже упорядочены от наиболее важного к менее важному. При этом, весовые коэффициенты *i*-го объекта представляют собой убывающую арифметическую прогрессию и определяются как $y_i = \frac{2(m-i+1)}{m(m+1)}$, где $m$ — количество показателей.

При строгом ранжировании показателей весовые коэффициенты подчиняются геометрической прогрессии, когда наиболее важным оказывается первый показатель для усиления простого линейного упорядочения $\left\{\begin{array}{c} y_1 \geq y_2 + y_3 + \ldots y_m \\ y_2 \geq y_3 + y_4 + \ldots y_m \\ \ldots \\ y_{m-1} \geq y_m \end{array}\right\}$ значения весов определяются как $y_i = \frac{2^{m-i}}{2^m - 1}$, где $i = \overline{(1, m)}$. На основании данного метода производится расчет для каждого показателя. Для примера приведен расчет для показателей, результаты которого представлены в таблицах 5.1-5.7.

Таблица 5.1 — Весовые коэффициенты оценки структурной значимости элементов ИУС

| № п/п | Критерий оценки | Весовой коэффициент |
|---|---|---|
| 1 | ИУС федерального значения | 0,33 |
| 2 | ИУС регионального значения | 0,23 |
| 3 | ИУС городских образований | 0,16 |
| 4 | ИУС муниципальных образований | 0,11 |
| 5 | ИУС обеспечивающие взаимодействие различных ведомств | 0,07 |
| 6 | ИУС обеспечивающие взаимодействие различных организаций | 0,06 |
| 8 | Элементы, предназначенные для контроля и мониторинга состояния системы | 0,04 |
| Сумма | | 1 |

Таблица 5.2 — Весовые коэффициенты оценки топологической значимости элементов ИУС

| № п/п | Критерий оценки | Весовой коэффициент |
|---|---|---|
| 1 | Элементы, используемые для выполнения основных функций системы | 0,53 |
| 2 | Элементы, используемые для выполнения второстепенных функций системы | 0,27 |
| 3 | Элементы, используемые для выполнения функций обеспечения | 0,13 |
| 4 | Элементы, используемые для резерва | 0,07 |
| Сумма | | 1 |

Таблица 5.3 — Весовые коэффициенты оценки психологической значимости

| № п/п | Критерий оценки | Весовой коэффициент |
|---|---|---|
| 1 | Вывод из строя ЛПР федерального уровня | 0,51 |
| 2 | Вывод из строя личного состава более 500 человек | 0,25 |
| 3 | Вывод из строя ЛПР регионального уровня | 0,13 |
| 4 | Вывод из строя личного состава до 500 человек | 0,06 |
| 5 | Вывод из строя ЛПР городского, муниципального уровня | 0,04 |
| 6 | Вывод из строя личного состава до 100 человек | 0,02 |
| Сумма | | 1 |

Таблица 5.4 — Весовые коэффициенты оценки значимости престижа организации

| № п/п | Критерий оценки | Весовой коэффициент |
|---|---|---|
| 1 | Раскрытие конфиденциальной информации | 0,7 |
| 2 | Нанесение ущерба престижу организации | 0,3 |
| Сумма | | 1 |

Таблица 5.5 — Весовые коэффициенты оценки социальной значимости элементов ИУС

| № п/п | Критерий оценки | Весовой коэффициент |
|---|---|---|
| 1 | Причинение ущерба жизни и здоровью персоналу организации | 0,52 |
| 2 | Причинение жизни и здоровью населения | 0,26 |
| 3 | Прекращение (нарушение) функционирования элементов системы, обеспечивающих функционирование организации | 0,13 |
| 4 | Уничтожение информационных ресурсов | 0,07 |
| 5 | Нарушение дисциплины на производстве | 0,03 |
| Сумма | | 1 |

Таблица 5.6 — Весовые коэффициенты оценки экономической значимости элементов ИУС

| № п/п | Критерий оценки | Весовой коэффициент |
|---|---|---|
| 1 | Снижение доли производимой продукции | 0,56 |
| 2 | Срыв доставки грузов | 0,29 |
| 3 | Простой линий | 0,15 |
| Сумма | | 1 |

Таблица 5.7 — Весовые коэффициенты оценки экологической значимости элементов ИУС

| № п/п | Критерий оценки | Весовой коэффициент |
|---|---|---|
| 1 | Срыв в управлении (выход из стоя) в результате которого пострадал федеральный округ | 0,56 |
| 2 | Срыв в управлении (выход из стоя) в результате которого пострадали 2 региона | 0,29 |
| 3 | Срыв в управлении (выход из стоя) в результате которого пострадал 1 регион | 0,15 |
| Сумма | | 1 |

Для вычисления ранга объекта находят усредненное значение по всем показателям по выражению

$$k_p = \frac{\sum_{i=1}^{m_{общ}} k_i}{m_{общ}}.$$

Для усреднения коэффициента, характеризующего ранг объекта производят усреднение с использованием следующего коэффициента:

$$k_{ср} = \frac{m_{общ}}{\sum_{i=1}^{m_{общ}} k_{p\max}},$$

где $m_{общ}$ – общее количество коэффициентов ранжирования объекта, процесса, элемента, в соответствии с которыми ему присвоен ранг.

## 5. 3. Определения статической критичности элементов ИУС АН

Статическая критичность элемента ИУС появляется и может сохраняться на всех этапах жизненного цикла системы: при проектировании и построении системы, ввода ее в эксплуатацию, при выполнении установленных требований в процессе функционирования.

Статическая критичность — это свойство объекта, элемента, функции, задачи характеризующее способность быть критически важным для объекта (системы) постоянно.

На основании данных категорирования и ранжирования элементов системы определяется статическая критичность его элементов. На основании результатов моделирования сложного объекта управления и результатов ранжирования оценивается участие каждого элемента в выполнении целевого предназначения системы. наличие возможности резервирования элемента системы значительно снижает его критичность для системы.

В процессе функционирования элементы ИУС и процессы, происходящие в ней, могут обладать определенной критичностью для самой системы и системы или объекта функционирование которых они обеспечивают. Постоянно задействованные элементы системы, технические средства, использующиеся для выполнения процессов в ней и влияющие на выполнение ее целевого предназначения или отдельные процессы, которые используются для обеспечения функционирования в интересах других системы, объектов будут обладать статической (постоянной) критичностью.

**Постановка задачи**

Пусть заданы:

ИУС, описываемая графом $G$, состоящим их множества элементов системы $N$ и связей между ними $N_{ij}$;

множество технических средств $N_k$, находящихся на элементах ИУС;

профиль функционирования ИУС в виде набора ресурсов $E$, задач $Z$, функций $F$, целей $A$ системы и требований $T$, предъявляемых к ней.

основные сведения об ОКИИ (назначение, архитектура объекта, применяемые программные и программно-аппаратные средства, взаимодействие с другими ОКИИ, наличие и характеристики доступа к сетям связи) [336, 365, 366];

основные сведения о управленческих, технологических, производственных, финансово-экономических и (или) иных процессах, в рамках выполнения функций (полномочий) или осуществления видов деятельности субъекта КИИ [360, 369];

состав информации, обрабатываемой ОКИИ, сервисы по управлению, контролю или мониторингу, предоставляемые объектами критической информационной инфраструктуры [300, 357, 358];

основное содержание декларации промышленной безопасности опасного производственного объекта, декларации безопасности гидротехнического сооружения и паспорт безопасности объекта топливно-энергетического комплекса в случае, если на указанных объектах функционирует ОКИИ;

сведения о взаимодействии ОКИИ с другими ОКИИ и (или) о зависимости функционирования ОКИИ от других таких объектов;

перечень угрозы безопасности информации в отношении ОКИИ, а также имеющиеся данные, в том числе статистические, о компьютерных инцидентах, произошедших ранее на ОКИИ соответствующего типа [365, 371].

**Показатели и критерии, ограничения и допущения, принятые в подходе.**

**Показателем** значимости системы будут:

Коэффициент статической критичности элемента системы;

**Критерием**:

$k_{\text{кр ст}} \geq 0,85$ – высокая критичность;

$0,85 < k_{\text{кр ст}} \leq 0,6$ – средняя критичность;

$0,6 < k_{\text{кр ст}} \leq 0,2$ – низкая критичность;

$k_{\text{кр ст}} < 0,2$ – не критичный;

Для определения статической критичности элементов системы используется профиль функционирования, представляющий собой следующую функцию:

$$p_{\text{п}} = f(p_0; p_{\text{гр}}).$$

Выполнение профиля определяет выполнение целевого предназначения системы, которое представляет собой выполнение ограниченного набора целей:

$$A_{\text{цп}} = A_{\text{гл}} = \{A_1, A_2, \ldots, A_a\}$$

где $A_{\text{цп}}$ ($A_{\text{гл}}$) – целевое предназначение (главная цель) системы.

Каждая цель может быть выполнена при выполнении системой своих функций, что требует определения перечня функций системы, выполнение которых позволит выполнить каждую цель системы:

$$A_1 = \{F_{11}, F_{12}, \ldots, F_{1c}\};$$
$$A_2 = \{F_{21}, F_{22}, \ldots, F_{2c}\};$$
$$\ldots.$$
$$A_a = \{F_{a1}, F_{a2}, \ldots, F_{ac}\}.$$

Аналогично, для каждой функции определяется перечень задач, выполнение которых позволяет выполнить функции системы:

$$F_1 = \{Z_{11}, Z_{12}, \ldots, Z_{1q}\};$$
$$F_2 = \{Z_{21}, Z_{22}, \ldots, Z_{2q}\};$$
$$\ldots.$$
$$F_c = \{Z_{c1}, Z_{c2}, \ldots, Z_{cq}\}.$$

Для выполнения задач системы требуется использование ресурсов системы, представляющее собой характеристики системы, технические средства, человеческий ресурс, что определяет следующие зависимости:

$$Z_1 = \{E_{11}, E_{12}, \ldots, E_{1m}\};$$
$$Z_2 = \{E_{21}, E_{22}, \ldots, E_{2m}\};$$
$$\ldots..$$
$$Z_q = \{E_{q1}, E_{q2}, \ldots, E_{qm}\}.$$

Построение иерархически связанной характеристики функционирования системы позволяет выявлять и определять критически значимые для системы процессы, обеспечивающие ее функционирование и выполнение целевого предназначения. Критичность любого процесса в системы будет определяться его влиянием на целевое предназначение системы.

Под процессом в системе будим понимать любое действие, разнесенное в пространстве и времени, для выполнения которого требуется использование ограниченного ресурса системы.

Таким образом под процесс подпадает следующие элементы профиля функционирования системы– задачи, функции, цели.

Для определения функциональной критичности процесса для объекта КИИ, системы или ее элемента определяется количество элементов системы, для которых, нарушение выполнения рассматриваемого процесса, приведет к нарушению выполнения процессов, влияющих на выполнение целевого предназначения системы. Тогда

$$k_{элем}=k_{проц}=\frac{k_a N_a + k_c N_c + k_q N_q}{k_a N_{a\max} + k_c N_{c\max} + k_q N_{q\max}},$$

где $k_a$ – коэффициент, характеризующий выполнение целей системы, значение которого выбирается равным 1, $N_a$ – количество целей системы, на выполнение которых оказывает влияние рассматриваемый процесс, $k_c$ – коэффициент, характеризующий выполнение функций системы, значение которого выбирается равным 0,8, $N_c$ – количество функций системы, на выполнение которых оказывает влияние рассматриваемый процесс, $k_q$ – коэффициент, характеризующий выполнение задач системы, значение которого выбирается равным 0,5, $N_q$ – количество задач системы, на выполнение которых оказывает влияние рассматриваемый процесс, $N_{a\max}$ – общее количество целей системы, которые необходимо выполнить для достижения целевого предназначения системы (выполнения профиля функционирования системы), $N_{c\max}$ – общее количество функций системы, которые необходимо выполнить для достижения целевого предназначения системы (выполнения профиля функционирования системы), $N_{q\max}$ – общее количество задач системы, которые необходимо выполнить для достижения целевого предназначения системы (выполнения профиля функционирования системы).

Определение коэффициента статической критичности процесса ИУС будем осуществлять следующим образом:

$$k_{кр\,ст} = k_{элем} * k_{рез},$$

где $k_{рез}$ – коэффициент резервного обеспечения процесса, величина которого определяется с использованием выражения $k_{рез}=\frac{\sum_{i=1}^{m} k_i}{m}$, $k_i=\frac{N_{qE}}{N_{общE}}$ - коэффициент обеспеченности ресурсом задач, $N_{qE}$ – количество задач в системе (профиле функционирования системы), для выполнения которых требуется ресурс $E$, $N_{общE}$ – общее количество однотипных ресурсов $E$, которые могут использоваться для выполнения $N_{qE}$ задач системы (профиля функционирования системы), $m$ – количество резервных сценариев выполнения рассматриваемого процесса (элемента).

Коэффициент $k_i$ рассматривается, как коэффициент статической критичности ресурса системы. Для объекта КИИ или элемента системы статическая критичность будем определять, как среднее арифметическое коэффициентов статической критичности его элементов (ресурсов, находящихся на нем):

$$k_{кр\,ст\,эл} = k_{кр\,ст\,объект} = \frac{\sum_{i=1}^{N_k} k_{i\,кр\,ст}}{N_k},$$

где $N_k$ – количество ресурсов системы, находящиеся на объекте КИИ (элементе ИУС), используемых для выполнения целевого предназначения системы.

## 5. 4. Методика определения динамической критичности элементов ИУС АН

В процессе функционирования ИУС и ее элементов большинство процессов выполняется в определенные периоды времени, определяемые заданным профилем их функционирования. Влияние данных процессов, ресурсов системы и ее элементов, объектов на выполнение целевого предназначения системы (выполнение профиля функционирования) в определенные моменты времени, ограниченные интервалы времени будут определять их динамическую критичность.

Динамическая критичность — это свойство объекта, элемента, функции, задачи характеризующее способность менять критичность, т.е. становится критически важным при изменяющейся обстановке и в процессе функционирования объекта, выполнения профиля функционирования.

Динамическая критичность, определяется исходя из времени задействования элементов системы для выполнения целей, требований, функций и его задач. Для этого при моделировании процесса функционирования системы определяются последовательности выполнения задач и обеспеченность их соответствующим ресурсом. Оценивается возможность использования ресурсов для выполнения нарушенных задач.

Динамическая (временная) критичность – критичность, изменяемая во времени, в зависимости от выполняемых задач и функций объекта, условий в которых он функционирует.

**Постановка задачи**

Пусть заданы:

ИУС, описываемая графом $G$, состоящим их множества элементов системы $N$ и связей между ними $N_{ij}$;

множество технических средств $N_k$, находящихся на элементах ИУС;

профиль функционирования ИУС в виде набора ресурсов $E$, задач $Z$, функций $F$, целей $A$ системы и требований $T$, предъявляемых к ней.

основные сведения об ОКИИ (назначение, архитектура объекта, применяемые программные и программно-аппаратные средства, взаимодействие с другими ОКИИ, наличие и характеристики доступа к сетям связи) [336, 365, 366];

основные сведения о управленческих, технологических, производственных, финансово-

экономических и (или) иных процессах, в рамках выполнения функций (полномочий) или осуществления видов деятельности субъекта КИИ [360, 369];

состав информации, обрабатываемой ОКИИ, сервисы по управлению, контролю или мониторингу, предоставляемые объектами критической информационной инфраструктуры [300, 357, 358];

основное содержание декларации промышленной безопасности опасного производственного объекта, декларации безопасности гидротехнического сооружения и паспорт безопасности объекта топливно-энергетического комплекса в случае, если на указанных объектах функционирует ОКИИ;

сведения о взаимодействии ОКИИ с другими ОКИИ и (или) о зависимости функционирования ОКИИ от других таких объектов;

перечень угрозы безопасности информации в отношении ОКИИ, а также имеющиеся данные, в том числе статистические, о компьютерных инцидентах, произошедших ранее на ОКИИ соответствующего типа [365, 371].

**Показатели и критерии, ограничения и допущения, принятые в подходе.**

**Показателем** значимости системы будут:

Коэффициент динамической критичности элемента системы;

**Критерием**:

$k_{кр\,д} \geq 0,85$ – высокая критичность;

$0,85 < k_{кр\,д} \leq 0,6$ – средняя критичность;

$0,6 < k_{кр\,д} \leq 0,2$ – низкая критичность;

$k_{кр\,д} < 0,2$ – не критичный;

Для определения динамической критичности элементов системы также используется профиль функционирования системы, представляющий собой следующую функцию:

$$Q = f(Q_0; Q_{гр}).$$

Выполнение профиля определяет выполнение целевого предназначения системы исходя из выполнения целей системы, выполнение целей характеризуется выполнением функций, выполнение функций – выполнением задач за счет задействования ресурсов системы.

Иерархическое построение функциональных характеристик системы (профиля) определяет, как ее элементы зависят друг от друга. Для каждого элемента профиля функционирования системы формируются матрицы временного выполнения и задействования.

Динамическая критичность определяется временем задействования, ресурсов, элементов (объектов) системы, выполнения процессов в профиле функционирования системы

$$k_{кр\,д\,проц} = k_{кр\,д\,объект} = \frac{\sum_{i=1}^{K} t_i}{t_{общ}},$$

где $K$ – количество отрезков времени выполнения процесса (задействования элемента), $t_i$ – $i$-й отрезок времени выполнения процесса (задействования элемента), $t_{общ}$ – время, необходимое на выполнение целевого предназначения (профиля функционирования) системы.

## 5. 5. Определения общей критичности элементов ИУС

Общая критичность того или иного элемента, процесса системы будет определяться исходя из категории значимости, ранга значимости объекта (элемента) для системы, а также статической и динамической критичности объектов, элементов и процессов в системе.

Для каждой категории значимости объектов ставится в соответствие следующие числовые значения, которые необходимы для оценки их критичности:

1 категория – $k_{кз} = 1$;

2 категория значимости – $k_{кз} = 0{,}85$;

3 категория значимости – $k_{кз} = 0{,}6$.

Общий коэффициент критичности элемента, объекта, процесса системы будет определяться, как:

$$k_{кр\,общ} = k_{кз} \times \left( \frac{k_{р\,ср} + k_{кр\,ст}}{m_к} \right).$$

где $m_к$ – количество слагаемых в числителе.

При наличии у объекта, элемента, процесса динамической критичности в часы использования, задействования его общая критичность увеличивается на время задействования и определяется через выражение:

$$k_{кр\,общ\,д} = k_{кр\,общ} + k_{кр\,д} \left| t = t_1 \right. .$$

## 5.6. Выводы по Главе 5

Результатом деятельности государства в области обеспечения безопасности инфраструктуры РФ стал ФЗ № 187 от 26.07.2017 года, который ввел понятийный аппарат КИИ РФ, закрепил на законодательном уровне необходимость борьбы с компьютерными атаками, определил полномочия органов власти, права и обязанности субъектов КИИ, требования к системе безопасности значимых объектов КИИ и категорирования, а также

внесения их в реестр значимых объектов, порядок контроля, оценки ее. Субъекты КИИ сами определяют объекты КИИ, которые они используют (которыми владеют). Возникает необходимость разработки методологического подхода обеспечения устойчивости и безопасности объектов КИИ. Одним из элементов такого подхода является процедура ранжирования объектов (элементов объекта) по важности (критичности) их для инфраструктуры.

Предложенный метод может быть использован для определения критичность всей системы и элементов, входящих в нее. Кроме этого с течением времени критичность может меняться, что определяет необходимость принятия мер к резервированию такого элемента или принятию других действий, направленных на обеспечение их гарантированного выполнения. Увеличение степени защиты элемента системы в определенные отрезки времени, исходя из необходимости его использования в соответствии с профилем функционирования профиля, позволит с одной стороны повысить функциональную устойчивость системы, а с другой уменьшить материальные затраты на построение и использование системы защиты ИУС.

Предложенный метод позволяет оценивать критичность не только физических элементов системы, но и оценивать функциональные характеристики – ресурсы, задачи, функции, цели. Уход от привязки к физическим элементам системы позволит обеспечить выполнение целевого предназначения системы, независимо от состава и состояния ее элементов.

Метод включает определение категории значимости ИУС, как объекта КИИ, ранжирования элементов системы по различным критериям, определение их ранга в системе, определение статической, динамической и общей критичности элемента системы.

Для определения значимость самой системы и ее элементов рассмотрены различные методы ранжирования, которые можно разделить на два класса: основанные на анализе экспертных оценок и без них. При анализе экспертных оценок возникают определенные трудности с достоверностью полученных данных, обусловленных квалификацией, эмоциональным состоянием, количеством и т.д. экспертов. Для ранжирования объектов без участия экспертов необходимо знание всех характеристик, показателей объекта, что для сложных объектов, таких как СС, СУ, ИУС, АСУ, ИС имеющих большое количество разнородных связей и элементов в своем составе, затруднительно.

Для устранения критичности осуществляется резервирование ресурсов, задач, функций. При этом классический подход в резервировании элементов и ресурса, часто практически реализовать трудно, из-за ограниченности обеспечения ресурсом и запасными элементами. Необходимо использовать резервирование задач и функций. Кроме этого,

воздействие различных дестабилизирующих факторов, которое носит случайных характер, и случайность нахождения объекта (системы) в различных ее состояниях, не позволяют точно определять такие состояния. Все это требует знания ЛПР о состоянии системы и ее элементов, и разработки подходов к обеспечению устойчивого функционирования объектов в любой момент времени, т.е. реагировании на изменение его состояния в режиме времени близком к реальному.

Дальнейшая работа будет направлена на разработку методов контроля с использованием профиля функционирования системы, позволяющих получать достоверную информацию о состоянии системы и ее элементов, прогнозировать последствия изменения состояния системы и ее элементов в условиях меняющейся обстановки и влиянии его на выполнение профиля функционирования системы, а также выявлять критические элементы системы и снижать их критичность.

# ГЛАВА 6. МЕТОД ОБЕСПЕЧЕНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ИУС АН

## 6.1. Анализ подходов к контролю, мониторингу и оценке процесса функционирования сложных технических систем

Современные ИУС представляют собой объекты КИИ и требуют построенного контроля процессов, происходящих в них. Сложность системы, большое количество элементов и процессов, происходящих в них требуют значительных затрат на контроль и мониторинг таких систем. Наибольшая нагрузка при контроле системы ложится на измерительные приборы, датчики и систему связи, используемую для обмена информацией в системе контроля и для выполнения целевого предназначения системы. Отдельные элементы системы приобретают критическое значение для нее, что определяет необходимость пристального внимания к процессу их функционирования.

Существующий уровень развития науки и техники в рассматриваемой предметной области показал, что имеет место существенное отставание темпов развития научно-методического аппарата систем контроля, мониторинга ИУС от современных требований, при этом, комплексирование и адаптация имеющихся наработок и технологий позволит сформировать качественно новый научно-методический аппарат анализа и синтеза контроля таких систем нового поколения, отвечающих современным требованиям [377].

Основной задачей системы контроля является установление факта способна ли система выполнить целевое предназначение, удовлетворяет она требованиям, предъявляемым к ней. Таким образом любой контроль сводится к сопоставлению требуемого и действительного состояния системы и ее элементов.

Рассматривая систему необходимо иметь ввиду ее контролепригодность, под которой понимается способность системы подвергаться контролю. Повышение качества ведения контроля, определения технического состояния системы и ее элементов является важной задачей, от решения которой зависит эффективность выполнения целевого предназначения самой системы и выполнение задач ее элементами. В обеспечении устойчивого функционирования ИУС особая роль принадлежит методам контроля, мониторинга и технического диагностирования. Диагностирование одна из важных мер обеспечения и поддержания функционирования системы и ее элементов на требуемом уровне. Возможность обнаружения нарушений процессов функционирования системы и ее элементов на ранней стадии обусловлена постепенным изменением состояния системы и ее

элементов во времени, которые приводят к снижению работоспособности, нарушению процессов функционирования системы. В самом общем виде виды диагностирования можно разделить на тестовые, используемые при изготовлении объекта, совершении ремонта, технического обслуживания, перед и после применения в системе, направленных на определение возможности использования объекта для его предназначения. Функциональное диагностирование, применяется при выполнении объектами своего предназначения в системе и направлено на выявление дефектов, нарушений функционирования, а также оценки правильности выполнения своего предназначения.

Современная планово-предупредительная стратегия в обслуживании и ремонте ИУС неэффективна, так как требует значительных материальных и человеческих ресурсов. Повсеместная автоматизация, усложнение систем приводит к необходимости использовать обслуживание системы по техническому состоянию. Возникает необходимость обеспечения систем такими техническими средствами, реализующими такую стратегию, которая позволит с минимальными затратами и в кратчайшие сроки определять состояние системы и ее элементов. Также требуется поиск новых способов и методов реализации функций контроля в ИУС.

Виды контроля можно классифицировать по различным признакам [378]:

По виду решаемой задачи различают следующие виды контроля:

контроль функционирования (качественная оценка работы аппаратуры);

контроль работоспособности (количественная оценка качества работы аппаратуры);

диагностический контроль (контроль с целью определения причины и места отказа);

прогнозирующий контроль (предсказание состояния ИУС или ее узлов в будущем);

профилактический контроль (определение элементов, параметры которых близки к предельным допустимым значениям, с целью их замены);

самоконтроль (определение работоспособности системы контроля ИУС).

По характеру оценки результатов контроля различают:

допусковый контроль (определение нахождения параметра в установленном поле допусков);

количественный контроль (определение абсолютных или относительных величин параметров или их отклонении от номинальных значений).

По виду внешних воздействий:

пассивный контроль (без внешних воздействий на контролируемый

активный контроль (оценка состояния объекта по реакциям на стимулирующие воздействия).

По способу анализа контролируемых параметров:

выборочный контроль (проверка отдельных устройств, узлов или параметров ИУС);

последовательный контроль (последовательная оценка параметров ИУС с помощью одного канала системы контроля);

параллельный контроль (одновременный контроль нескольких параметров технических средств по различным каналам системы контроля);

комбинированный контроль (сочетание последовательного и параллельного способов контроля).

По периодичности проведения контроля:

непрерывный контроль (информация о параметрах ИУС поступает непрерывно в процессе ее работы);

периодический контроль (анализ каждого параметра ИУС выполняется через установленные интервалы времени в течение некоторого срока эксплуатации ИУС

летучий контроль (контроль начинается в случайные моменты времени, выбираемые в установленном порядке).

По оценке динамических свойств ИУС:

статический контроль (оценка состояния ИУС по установившимся значениям параметров);

динамический контроль (оценка состояния ИУС по характеристикам переходных процессов).

Полученные при измерении параметры, используются для оценки надежности, живучести, киберустойчивости, помехоустойчивости, показателей, характеризующих устойчивость системы. Как правило, используются аналитические методы теории случайных процессов, теории экспертных оценок (эвристического прогнозирования), декомпозиции (эквивалентирования), логико-вероятностные, асимптотические, аналитико-статистические методы и другие. Кроме этого, могут использоваться методы имитационного и статистического моделирования.

Для оценки устойчивости технических систем с малым числом состояний могут использоваться асимптотические методы. Недостатком асимптотических методов, ограничивающим их применение, является получение решения задачи лишь в небольших пределах изменения параметров системы, что на практике редко применимо [379].

Большинство методов оценки устойчивости системы основано на сборе и использовании статистических данных о состоянии системы и наличии в ней отказов в прошлом. Они носят вероятностный характер. Такой подход приемлем для систем в которых отсутствуют критические элементы и нарушение их функционирования на какое-то время приемлемо для системы и для других систем в интересах которых функционирует

ИУС. Наличие критичности в системе определяет необходимость рассмотрения ее в режиме реального времени, когда при любом изменение показателей функционирования системы незамедлительно следует реакция как ее самой, так и ЛПР этой системой.

Для анализа надежности систем с неэкспоненциальными распределениями применяются: логико-вероятностные, дифференциальный метод разложения на фазы, метод Кендалла, метод аппроксимации интенсивностей, графовые, экспертной оценки (укрупнения состояний), эвристические, декомпозиции (эквивалентирования), аналитико-статистические, диффузионных процессов.

Данные методы ограничены в использовании определенным количеством рассматриваемых состояний системы, событий, происходящих в ней, с одной стороны, а с другой, рассмотрение этих событий возможно на кратковременном отрезке времени, что не применимо для системы, с большим количеством элементов и процессов выполняющихся в каждый момент времени.

Метод эквивалентирования последовательных и дублированных цепей получил широкое распространение для расчета надежности систем с большим числом элементов при параллельном и последовательном их соединении [380].

Если отсутствуют полные знания о процессах в системе для оценки устойчивости функционирования ИУС может применяться метод Монте-Карло. В этом случае используются вероятностные математические модели для формализации исследуемой системы (процесса), результаты моделирования используются для вычислений. Для данного подхода характерно множество испытаний (моделирований) исследуемого процесса (системы).

Для единичных, уникальных объектов используется метод статического моделирования. Использование методов имитационного моделирования для ИУС используется с определенными ограничениями, обусловленных сложностью системы и большим количеством процессов в ней. Данный метод требует больших вычислительных мощностей, а также машинного времени для получения оценок. Кроме этого, данные методы не позволяют в полной мере учесть весь спектр факторов, как правило, носящих вероятностный характер, влияющих на функционирование системы и процессы в ней.

Функционирование ИУС направлено на выполнение целевого предназначения, при этом она и ее элементы выполняют определенные функции, задачи, количество которых может быть очень велико и меняться во времени. В этом случае устойчивость системы определяется составным вектором выполнения функций, задач системы. Возникают определенные трудности к оценке различных систем, предназначенных для выполнения одного целевого предназначения, но имеющих различный состав и выполняющих разные

функции и задачи.

Развитие науки и техники способствовало увеличению устойчивости ИУС за счет использования более стойких ресурсов, новых сплавов, материалов высокой прочности, автоматизации процессов. Однако наряду с этим системы усложняются, появляются новые элементы, функции. С каждым годом все больше систем становятся критичными для государства, предприятий.

Современные подходы к контролю, мониторингу и оценке состояния ИУС не только должны учитывать возникающие нарушения функционирования, вести их статистику, но прогнозировать, предугадывать возможность их возникновения в будущем, а также принимать меры чтобы при наступлении таких событий система адаптировалась к ним и реагировала на них до момента их наступления, что достигается в первую очередь, резервирование ресурса, во вторую – резервированием задач и функций системы.

## 6.2. Концептуальная модель контроля процесса функционирования ИУС АН

Одной из подсистем ИУС должна быть система контроля, которая занимается выявлением нарушений устойчивого функционирования самой системы, так и ее элементов. Система контроля собирает информацию о состоянии ИУС и представляет ее лицам, осуществляющим управление ею, при этом от полноты и качества такой информации зависит характер и направление управленческих воздействии. ИУС, кроме системой может управлять вышестоящая СУ, которая порой не имеет точной информации о состоянии подчиненной системы, ее элементов и ее возможностей в данный момент времени, что, часто, обуславливает наличие управляющих воздействий СУ для выполнения различных задач, которые она выполнить не может по различным причинам. Такое состояние дел требует необходимости своевременного предоставления информации о состоянии ИУС не только СУ, но и вышестоящей СУ, а также предоставления полной и качественной информации, получаемой системой контроля о состоянии и функционировании ИУС. Кроме этого, для обеспечения ФУ ИУС и своевременной реакции на возникающие неисправности, не выполнение (предпосылки к невыполнению) процессов, функций, задач, целей системы, необходимо проводить предиктивный контроль (рис. 6.1) функционирования системы, целью которого является выявление элементов системы, выполняющих функции и задачи с отклонениями или в процессе функционирования, которых возможно возникновение таких отклонений.

Для достижения своих целей система должна выполнять требования, обеспечиваемые выполнением возложенных на нее функций, задач и регламентов за счет имеющегося ресурса (маневра ресурсом), при этом для обеспечения быстродействия реагирования на нарушения функционирования элементов системы некоторые процессы должны быть автоматизированы. Отсутствие ресурса не выполнение функций, задач и регламентов, а также сбои в их выполнении, могут стать причиной нарушения ее устойчивого функционирования и не достижению целей системы.

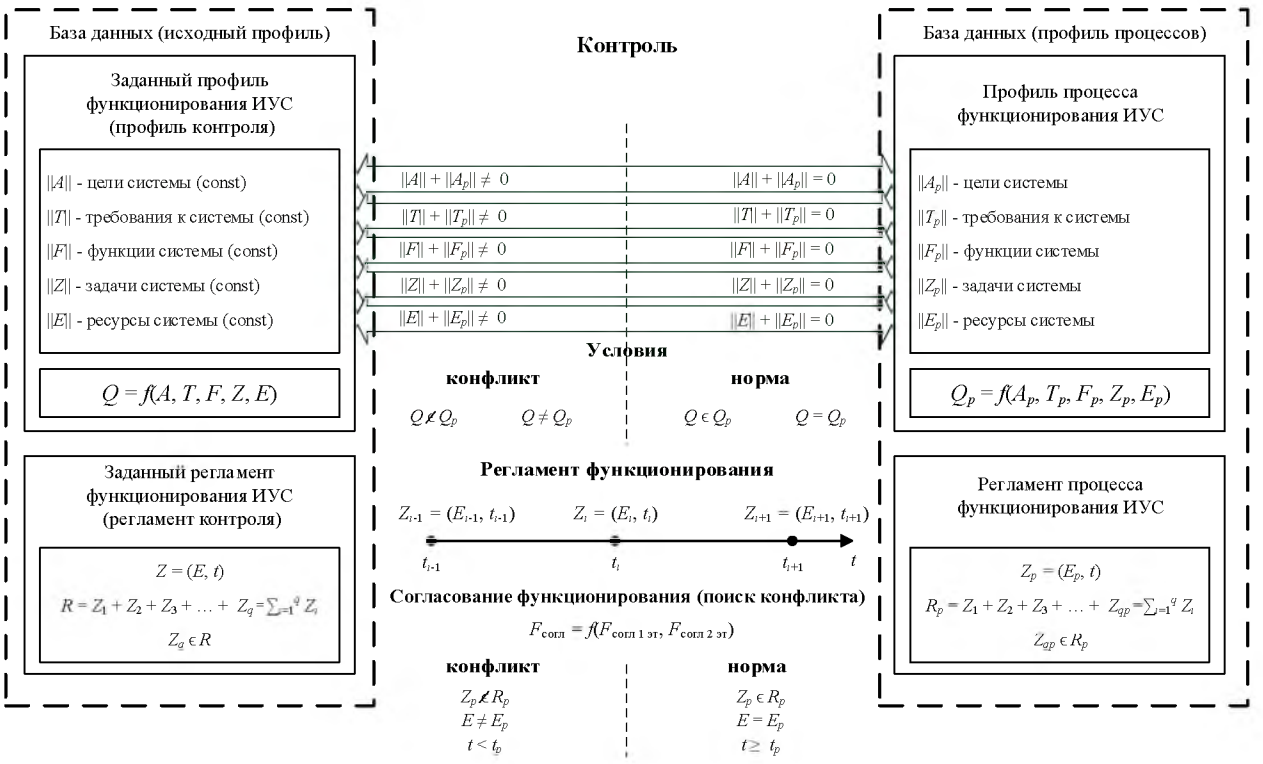



Рисунок 6.1 – Модель функционирования системы контроля ИУС

В процессе функционирования системы происходит заполнение базы данных процессов, происходящих в ней (рис. 6.1). На основании полученных данных формируется регламент процесса функционирования ИУС, основой которого являются регламенты выполнения простейших задач системы [381, 382]. Полученный системой контроля регламент сравнивается с формируемым регламентом функционирования системы, который получают на основе профиля функционирования системы. Кроме этого, анализ выполнения регламента по вертикали и горизонтали позволяет производить контроль обеспеченности ресурсом целей, функций и задач системы, а также соответствие этих параметров заданным требованиям. Контроль обеспеченности ресурсом способствует

выявлению критически важных задач и функций, а также элементов системы, обеспечивающих выполнение критически важных задач и функций.

При выявлении конфликтов производится оценка ситуации и предоставляется информация о конфликте в систему поддержки принятия решения, которая формирует одно и более решений на устранение конфликта для системы. Параллельно система контроля предоставляет информацию вышестоящей СУ о состоянии ИУС, выполняемых ее задачах и обеспеченности ресурсами. ЛПР на основании полученных данных о состоянии системы и выявленных конфликтах, а также информации, полученной от системы помощи в принятии решения, формируют управленческое воздействие на нее для ухода (устранения) от конфликта.

Одной из задач обеспечения устойчивого функционирования ИУС является разработка математических подходов поиска конфликтов в системе.

Для описания процесса функционирования ИУС и ее контроля рассмотрим ПФС, выполнение которого необходимо контролировать (рис. 3.20).

Формируемый системой управления профиль функционирования ИУС будет иметь вид:

$$Q = (A, T, F, Z, E).$$

В процессе функционирования системы выполняется формируется профиль процесса функционирования ИУС:

$$Q_p = (A_p, T_p, F_p, Z_p, E_p).$$

Структура профиля выполнения процесса функционирования должна быть идентична профилю функционирования системы, а структура заданного регламента регламенту процесса функционирования. При выполнении регламента и соответствии его профилю функционирования, при этом, когда $Q = Q_p$ конфликты в системе отсутствуют, иначе, при $Q \neq Q_p$ возникают конфликты, что может способствовать невыполнению системой своего целевого предназначения.

При функционировании ИУС осуществляется формирование профиля процесса функционирования системы, который записывается в базы данных. Производится контроль выполнения задач, функций, требований, целей путем сравнения заданного профиля функционирования ИУС и профиля процесса функционирования ИУС.

Формирование профиля процесса функционирования ИУС осуществляется по тем же принципам и правилам, что формирование профиля функционирования ИУС. Отличием будет, то что профиль процесса функционирования ИУС строится на момент его проверки. В идеале полный и завершенный профиль процесса функционирования ИУС должен соответствовать профилю функционирования системы, заданному планом, что на практике

бывает редко. В процессе функционирования системы на основании профиля функционирования ИУС определяется перечень функциональных и структурных элементов, которые должны быть сформированы, построены, выполнены, а также потребный для этого ресурс. После осуществляется контроль путем опроса датчиками состояния данных элементов системы в соответствии с заданной периодичностью и критериями, с последующим определением способности выполнения заданного плана.

Кроме этого, производится проверка выполнения, целей, функций, задач, а также задействования ресурсов по времени, таким образом, что если ресурс, используется для в процессе функционирования ИУС, он исправен, то через определенные заданные интервалы времени в соответствующей матрице контроля формируется символ 1. Если ресурс не используется, не может использоваться, снижено качество его функционирования то формируется символ 0. Потребность в ресурсе при невозможности его использования может обуславливать возникновение конфликта в системе.

В процессе функционирования системы в системе контроля осуществляется постоянный контроль состояния самого профиля функционирования ИУС, необходимость которого обусловлена динамикой изменения состояния системы, ее элементов, а также окружающей обстановки:

$$q_{Z-Z} = \begin{array}{c|cccc} & Z_1 & Z_2 & \dots & Z_d \\ Z_1 & 1 & 1 & \dots & 0 \\ Z_2 & 1 & 1 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ Z_d & 0 & 0 & \dots & 1 \end{array}.$$

Аналогично проверяется выполнение других элементов профиля функционирования ИУС.

Отображение информации контроля о состоянии ИУС осуществляется с использованием следующих матриц:

ресурсов

$$q_{E_p-E} = \begin{array}{c|cccc} & E_{1p} & E_{2p} & \dots & E_{mp} \\ E_1 & 1 & 0 & \dots & 0 \\ E_2 & 0 & 1 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & 0 \\ E_m & 0 & 0 & \dots & 1 \end{array},$$

задач

$$q_{Z_p-Z} = \begin{array}{c|cccc} & Z_{1p} & Z_{2p} & \dots & Z_{dp} \\ Z_1 & 1 & 0 & \dots & 0 \\ Z_2 & 0 & 1 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & 0 \\ Z_d & 0 & 0 & \dots & 1 \end{array}$$

функций

$$q_{F_p-F} = \begin{array}{c|cccc} & F_{1p} & F_{2p} & \dots & F_{cp} \\ F_1 & 1 & 0 & \dots & 0 \\ F_2 & 0 & 1 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & 0 \\ F_c & 0 & 0 & \dots & 1 \end{array},$$

требований

$$q_{T_p-T} = \begin{array}{c|cccc} & T_{1p} & T_{2p} & \dots & T_{np} \\ T_1 & 1 & 0 & \dots & 0 \\ T_2 & 0 & 1 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & 0 \\ T_n & 0 & 0 & \dots & 1 \end{array},$$

целей

$$q_{A_p-A} = \begin{array}{c|cccc} & A_{1p} & A_{2p} & \dots & A_{ap} \\ A_1 & 1 & 0 & \dots & 0 \\ A_2 & 0 & 1 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & 0 \\ A_a & 0 & 0 & \dots & 1 \end{array}.$$

Согласование целей профилей в данный момент времени, позволяет выявлять цели, противоречащие установленному правилу (заданному профилю функционирования системы). При отсутствии конфликта профили соответствует друг другу, иначе система регистрирует появление конфликта. Аналогично согласование соответствующих требований, функций, задач и ресурсов профилей, позволяют выявить конфликты по соответствующим элементам системы.

Для проверки выполнения профиля процесса функционирования ИУС и регламентов в ней матрицы целей, требований, функций, задач и ресурсов складывают $\|A_a\|+\|A_{ap}\|$, $\|T_n\|+\|T_{np}\|$, $\|F_c\|+\|F_{cp}\|$, $\|Z_d\|+\|Z_{dp}\|$, $\|E_m\|+\|E_{mp}\|$. Если сумма равна 0, то профиль процесса функционирования соответствует заданному профилю функционирования системы и регламент функционирования ИУС выполняется, иначе возникает конфликт.

Регламент функционирования ИУС представляет собой порядок выполнения совокупности последовательных и параллельных задач в установленные сроки с заданным качеством за счет использования ресурсов системы:

$$R = Z_1 + Z_2 + \dots + Z_q = \sum_{i=1}^{q} Z_i.$$

Элементарная задача, представляет собой простейшее действие, выполнение которого обеспечивается соответствующим ресурсом системы, и которая выполняется в определенные сроки:

$$Z_q = \{E_m, t\},$$

где $Z_q \in R$.

Регламент процесса функционирования ИУС представляет собой совокупность последовательно и параллельно выполняемых задач в установленные сроки с заданным качеством за счет использования ресурсов системы:

$$R_p = Z_{1p} + Z_{2p} + \ldots + Z_{qp} = \sum_{i=1}^{q} Z_{ip}.$$

Элементарная задача, представляет собой простейшее действие, выполнение которого обеспечивается соответствующим ресурсом системы, и которая выполняется в определенные сроки:

$$Z_{qp} = \{ E_{mp}, t_p \},$$

где $Z_{qp} \in R_p$.

В процессе контроля выполнения профиля функционирования ИУС проверяется принадлежность выполняемой в данный момент времени задачи $Z_{qp}$ регламенту $R_p$ и множеству задач $Z_p$, а также соответствие временного интервала ($t_{нp}$, $t_{кp}$) выполнения задачи временному интервалу ($t_н$, $t_к$), заданному в регламенте на данную задачу, и обеспеченность ее ресурсом.

Кроме этого, выполняемая задача $Z_{qp}$ должна соответствовать профилю функционирования системы, соответствующей задаче $Z_q$ профиля. Используемые для выполнения задачи $Z_{qp}$ ресурсы и сроки выполнения ее должны соответствовать ($t_н$, $t_к$) и ресурсам задачи $Z_q$, профиля функционирования системы.

Возникновение ситуации, когда $Z_{qp} \notin R_p$ свидетельствует о наличии конфликта в системе, обусловленного нарушением порядка выполнения профиля функционирования ИУС. При $E \neq E_p$ возникает конфликт неопределенности ресурса для выполнения задачи $Z_{qp}$ регламента $R_p$. При $t \neq t_p$ возникает конфликт невыполнения задачи $Z_{qp}$ регламента $R_p$ в установленные профилем, требованиями вышестоящей системы управления сроки.

Возникновение конфликта возможно при отсутствии ресурса для выполнения регламента, нарушении сроков его выполнения. Критичность обусловлена отсутствием резерва для обеспечения выполнения задачи, влияющей на выполнение требований и целевого предназначения ИУС, степенью влияния нарушения функционирования системы, не выполнением/нарушением выполнения задачи на выполнение требований и целевого предназначения системы.

Для обеспечения функциональной устойчивости ИУС и выявления конфликтов производится оценка выполнения регламента, при этом:

время выполнения каждой задачи не должно превышать время, отведенное на ее выполнение профилем регламента;

для каждой задачи, до момента начала ее выполнения, системой должен быть установлен соответствующий ресурс, установленный профилем регламента;

количество выполненных задач, предусмотренных профилем регламента, должно соответствовать количеству задач, выполненных в процессе функционирования ИУС.

При несоответствии оценки выполнимости регламента заданным параметрам система контроля формирует запрос с информацией и предоставляет ее системе помощи в принятии решения, для определения причин, вызвавших конфликт, формировании способов его устранения и представления предложений для принятия управленческих решений.

Количественно оценку выполнения регламента можно оценивать через коэффициент своевременности:

$$t = t_{Z1} + t_{Z2} + \ldots + t_{Zq} \mid Z_q \in R$$

и

$$t_p = t_{pZ1} + t_{pZ2} + \ldots + t_{pZqp} \mid Z_{qp} \in R_p.$$

Тогда

$$K_{св} = t_p / t.$$

Критерий оценки функционирования ИУС и выполнения регламента можно охарактеризовать коэффициентом выполнения регламента:

$$K_ф = K_A \; K_T \; K_F \; K_Z \mid Z_{qp} \in R_p,$$

где $K_A = N_{Ap} / N_A$, $N_A$ - количество заданных профилем целей функционирования ИУС, $N_{Ap}$ - количество выполненных целей функционирования ИУС при регламенте, $K_T = N_{Tp} / N_T$, $N_T$ - количество заданных профилем требований к ИУС, $N_{Tp}$ - количество обеспеченных требований, предъявляемых к ИУС, контролируемых при регламенте, $K_F = N_{Fp} / N_F$, $N_T$ - количество заданных профилем функций ИУС, $N_{Fp}$ - количество выполненных функций ИУС при регламенте, $K_Z = N_{Zp} / N_Z$, $N_Z$ - количество заданных профилем задач ИУС, $N_{Fp}$ - количество выполненных задач ИУС при регламенте.

Для оценки критически важных задач, функций, требований, целей можно использовать коэффициент выполнения критически важных элементов регламента:

$$K_{фк} = K_{Ak} \; K_{Tk} \; K_{Fk} \; K_{Zk} \mid Z_{qp} \in R_p,$$

где $K_{Ak} = N_{Apk} / N_A$, $N_A$ - количество заданных профилем целей функционирования ИУС, $N_{Apk}$ - количество выполненных критически важных целей функционирования ИУС при регламенте, $K_{Tk} = N_{Tpk} / N_T$, $N_T$ - количество заданных профилем требований к ИУС, $N_{Tpk}$ - количество обеспеченных критически важных требований, предъявляемых к СТС, контролируемых при регламенте, $K_{Fk} = N_{Fpk} / N_F$, $N_T$ - количество заданных профилем функций ИУС, $N_{Fpk}$ - количество выполненных критически важных функций ИУС при регламенте, $K_{Zk} = N_{Zpk} / N_Z$, $N_Z$ - количество заданных профилем задач ИУС, $N_{Fpk}$ - количество выполненных критически важных задач ИУС при регламенте.

Критерий функциональной устойчивости определяется коэффициентом функциональной устойчивости

$$K_{фу} = K_{ф}\, K_{св} \mid K_{фк} = 1.$$

Критичность объектов ИУС определяется на основании матрицы, описывающей структуру ИУС. Если объект имеет менее 15% связей, которые у него должны быть в данный момент времени, то он является критически важным для системы.

Количественно критичность объектов ИУС можно определить, как

не критичен, если более 80% связей объекта организованы и поддерживаются, при этом выполняются требования по категориям важности;

умерено критичен, если менее 80%, но более 50% связей объекта организованы и поддерживаются, при этом выполняются требования по категориям важности;

ограничено критичен, если менее 50%, но более 30% связей объекта организованы и поддерживаются, при этом выполняются требования по категориям важности;

в основном критичен, если менее 30%, но более 15% связей объекта организованы и поддерживаются, при этом выполняются требования по категориям важности;

критичен, если менее 15% связей объекта организованы и поддерживаются, при этом выполняются требования по категориям важности;

Аналогично критичность ресурса для задачи определяется его отсутствием и отсутствием его резерва для данной задачи, которые способствуют невыполнению задачи. Критичность задачи для функции определяется ее невыполнением или нарушением сроков выполнения, которые могут способствовать невыполнению функции. Критичность функции для требования и требования для целей, определяется наступлением такого события, когда невыполнение функции способствует невыполнению требования, а требования – цели ИУС.

## 6.3. Модель контроля процесса функционирования ИУС АН

Процесс обмена информацией в ИУС, являющейся объектом КИИ осуществляется через элементы системы связи. Кроме этого, системы связи являются одним из ключевых элементов любой системы управления. Все это определяет критичность и важность систем связи, в первую очередь для систем управления.

Контроль процесса функционирования ИУС и ее элементов направлен на выявление отклонений в функционировании системы, которые будут причиной нарушения устойчивого функционирования системы, т.е. не выполнении ею и ее элементами своих функций и задач.

В ИУС процесс контроля функционирования системы сводится к контролю параметров, характеризующих техническое состояние технических средств системы. При этом существуют ситуации, когда контролируемые параметры в норме, а технические средства и сама система не может обеспечить выполнение своего предназначения, заключающееся в обеспечении обмена информацией, данными, сообщениями в ней. Причиной такого явления может быть неполный перечень измеряемых параметров, измерение не тех параметров, а также изменение состояния самого технического средства и условий его функционирования (воздействие внутренних и внешних факторов). Кроме этого процесс передачи и приема сообщений включает задействование ограниченного количества технических средств, нарушение устойчивого функционирования любого из которых может привести к возникновению ситуации невозможности передачи информации и сообщений в системе управления [381-383].

Контроль параметров технических средств не дает информации о способности системы обеспечивать передачу, прием сообщений, а также не позволяет оценивать способность системы выполнить целевое предназначение и выполнять свои функции и задачи. Требуется определение параметров, характеризующих выполнение задач и функций системы, а также преобразование совокупности взаимосвязанных функций и задач и характеризующих их параметров в виде задания на контроль для системы контроля. Предлагается в качестве основного элемента системы контроля использовать профиль функционирования системы [320, 381, 382], характеризующий взаимосвязанные цели системы, требования, предъявляемые к ней, функций, задачи и ресурсы системы (рис. 3.18).

Процесс контроля должен обладать следующими свойствами: полнотой, объективностью, достоверностью и непрерывностью.

Для исследования процесса контроля ИУС и повышения его эффективности актуальной является задача разработки математических моделей, характеризующих процесс контроля и позволяющих определять вероятностно-временные зависимости событий, происходящих в системе, обуславливающих состояние самой системы и ее элементов. Для решения данной задачи предлагается использовать математической аппарат теории Марковских случайных процессов.

Процесс контроля функционирования ИУС можно представить в виде ориентированного графа состояний (рис. 6.2) и описать терминами теории Марковских случайных процессов с дискретным состояниями и непрерывным временем, под которым понимается процесс у которого в любой момент времени $t$ множество его состояний $S$ – счетно и конечно, при этом, переход из одного состояния в другое может происходить в любой момент времени в процессе функционирования системы (проводимого

моделирования) [384, 385].

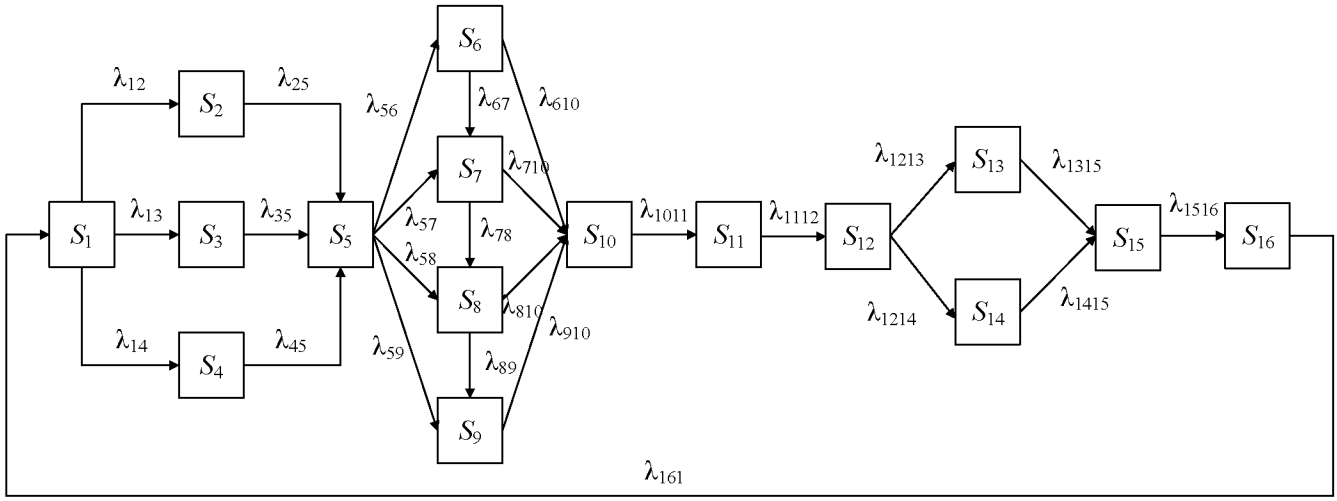



Рис. 6.2 – Ориентированный граф состояний процесса контроля функционирования ИУС

Предполагается, что переход из состояния в другое состояние происходит под действием пуассоновского потока событий [384].

Для получения вероятностно-временных характеристик, описывающих процесс контроля функционирования ИУС для ориентированного графа (рис. 6.2) составлена система обыкновенных дифференциальных уравнений Колмогорова [386].

Для системы уравнений задаются начальные условия. Исходя из возможных состояний, вектор вероятностей начальных состояний Марковской цепи в начальный момент времени имеет вид

$$p_i(0) = (1\,0\,0\,0\,0\,0\,0\,0\,0\,0\,0\,0\,0\,0\,0\,0).$$

Задавая численные значения интенсивностей λ и переходя к непрерывному времени $t \to \infty$, решается система линейных дифференциальных уравнений (ЛДУ) с постоянными коэффициентами (однородный Марковский процесс). Для любого момента времени $t$ сумма всех вероятностей состояний равна единице

$$\sum_{i=1}^{16} p_i(t) = 1.$$

Характер выбранных значений интенсивностей определяется в соответствии с выбранной стратегией, а также заданными исходными данными.

Учет в Марковской модели времени пребывания системы контроля в каждом из состояний в зависимости от стратегий позволяет исследовать временную динамику

процесса контроля функционирования ИУС и оценить вероятность нахождения ее в устойчивом состоянии.

$$\begin{cases}
\frac{dp_1(t)}{dt} = \lambda_{161}p_{16}(t) - (\lambda_{12} + \lambda_{13} + \lambda_{14})p_1(t) \\
\frac{dp_2(t)}{dt} = \lambda_{12}p_1(t) - \lambda_{25}p_2(t) \\
\frac{dp_3(t)}{dt} = \lambda_{13}p_1(t) - \lambda_{35}p_3(t) \\
\frac{dp_4(t)}{dt} = \lambda_{14}p_1(t) - \lambda_{45}p_4(t) \\
\frac{dp_5(t)}{dt} = \lambda_{25}p_2(t) + \lambda_{35}p_3(t) + \lambda_{45}p_4(t) - (\lambda_{56} + \lambda_{57} + \lambda_{58} + \lambda_{59})p_5(t) \\
\frac{dp_6(t)}{dt} = \lambda_{56}p_5(t) - (\lambda_{67} + \lambda_{610})p_6(t) \\
\frac{dp_7(t)}{dt} = \lambda_{57}p_5(t) + \lambda_{67}p_6(t) - (\lambda_{78} + \lambda_{710})p_7(t) \\
\frac{dp_8(t)}{dt} = \lambda_{58}p_5(t) + \lambda_{78}p_7(t) - (\lambda_{89} + \lambda_{810})p_8(t) \\
\frac{dp_9(t)}{dt} = \lambda_{59}p_5(t) + \lambda_{89}p_8(t) - \lambda_{910}p_9(t) \\
\frac{dp_{10}(t)}{dt} = \lambda_{610}p_6(t) + \lambda_{710}p_7(t) + \lambda_{810}p_8(t) + \lambda_{910}p_9(t) - \lambda_{1011}p_{10}(t) \\
\frac{dp_{11}(t)}{dt} = \lambda_{1011}p_{10}(t) - \lambda_{1112}p_{11}(t) \\
\frac{dp_{12}(t)}{dt} = \lambda_{1112}p_{11}(t) - (\lambda_{1213} + \lambda_{1214})p_{12}(t) \\
\frac{dp_{13}(t)}{dt} = \lambda_{11132}p_{12}(t) - \lambda_{1315}p_{13}(t) \\
\frac{dp_{14}(t)}{dt} = \lambda_{1214}p_{11}(t) - \lambda_{1415}p_{14}(t) \\
\frac{dp_{15}(t)}{dt} = \lambda_{1415}p_{14}(t) + \lambda_{1315}p_{13}(t) - \lambda_{1516}p_{15}(t) \\
\frac{dp_{16}(t)}{dt} = \lambda_{1516}p_{15}(t) - \lambda_{161}p_{16}(t) \\
\sum_{i=1}^{16} p_i(t) = 1
\end{cases}$$

В процессе функционирования ИУС и ее контроле осуществляется переход из одного состояния в другое, описание которых (входных и выходных потоков событий) представлено в таблице 6.1.

Решение системы уравнений Колмогорова получено с использованием пакета математического программирования Mathcad 15. Для моделирования рассмотрено несколько стратегий (табл. 6.2), характеризующих интенсивности потоков событий для ориентированного графа (рис. 6.2).

Таблица 6.1 – Описание состояний процесса контроля функционирования ИУС

| № п/п | Наименование состояния | № вх. сообщ. | № вых. сообщ. |
|---|---|---|---|
| $S_1$ | Формирование профиля процесса функционирования ИУС | $\lambda_{161}$ | $\lambda_{12}$<br>$\lambda_{13}$<br>$\lambda_{14}$ |
| $S_2$ | Сбор данных: определение количества элементов в системе | $\lambda_{12}$ | $\lambda_{25}$ |
| $S_3$ | Сбор данных: определение количества связей между элементами в системе | $\lambda_{13}$ | $\lambda_{35}$ |
| $S_4$ | Сбор данных: определение количества технических средств, находящихся на элементах системы | $\lambda_{14}$ | $\lambda_{45}$ |
| $S_5$ | Сбор данных: определение ресурсного обеспечения системы | $\lambda_{25}$<br>$\lambda_{35}$<br>$\lambda_{45}$ | $\lambda_{56}$<br>$\lambda_{57}$<br>$\lambda_{58}$<br>$\lambda_{59}$ |
| $S_6$ | Контроль профиля: выполнение задач | $\lambda_{56}$ | $\lambda_{67}$<br>$\lambda_{610}$ |
| $S_7$ | Контроль профиля: выполнение функций | $\lambda_{57}$<br>$\lambda_{67}$ | $\lambda_{78}$<br>$\lambda_{710}$ |
| $S_8$ | Контроль профиля: выполнение требований | $\lambda_{58}$<br>$\lambda_{78}$ | $\lambda_{89}$<br>$\lambda_{810}$ |
| $S_9$ | Контроль профиля: выполнение целей | $\lambda_{59}$<br>$\lambda_{89}$ | $\lambda_{910}$ |
| $S_{10}$ | Контроль профиля: выполнение регламента | $\lambda_{610}$<br>$\lambda_{710}$<br>$\lambda_{810}$<br>$\lambda_{910}$ | $\lambda_{1011}$ |
| $S_{11}$ | Анализ критичности элементов ИУС | $\lambda_{1011}$ | $\lambda_{1112}$ |
| $S_{12}$ | Анализ результатов контроля профиля и критичности элементов ИУС | $\lambda_{1012}$ | $\lambda_{1213}$<br>$\lambda_{1214}$ |
| $S_{13}$ | Обнаружение конфликта в системе и критичности ее элементов | $\lambda_{1213}$ | $\lambda_{1315}$ |
| $S_{14}$ | Отсутствие конфликта в системе и критичности ее элементов | $\lambda_{1214}$ | $\lambda_{1415}$ |
| $S_{15}$ | Формирование варианта действий по устранению конфликта и снижению критичности элементов системы | $\lambda_{1315}$<br>$\lambda_{1415}$ | $\lambda_{1516}$ |
| $S_{16}$ | Принятие системой управления решения по устранению конфликта, снижению критичности, синтез системы | $\lambda_{1516}$ | $\lambda_{161}$ |

Используя известный [386, 387] порядок решения системы ЛДУ методом Рунге-Кутта, учитывая вектор вероятностей начальных состояний $p_i(0)$, интервал интегрирования $[t_0; t_1]$ и число этапов интегрирования $n$, производится расчет для заданных значений интенсивностей событий $\lambda_{ij}$ = const (Марковский однородный процесс) (табл. 6.2). Это позволит получить приближенные значения $p_i$ искомых решений $p(t)$ на некотором интервале $t \in [t_0; t_1]$.

Таблица 6.2 – Интенсивности потоков событий для каждой из стратегий

| № п/п | Интенсивность потока событий | $\lambda$ | Значения интенсивностей потоков событий для стратегии | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | С1 | С2 | С3 |
| 1 | на формирование профиля процесса функционирования ИУС по результатам контроля и устранения конфликтов и критичности в системы | $\lambda_{161}$ | 10 | 50 | 100 |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 2 | на сбор данных: определение количества элементов системы | $\lambda_{12}$ | 10 | 10 | 30 |
| 3 | на сбор данных: определение количества связей между элементами ИУС | $\lambda_{13}$ | 20 | 20 | 50 |
| 4 | на сбор данных: определение количества технических средств на элементах ИУС | $\lambda_{14}$ | 50 | 50 | 100 |
| 5 | на определение ресурсного обеспечения системы, исходя из количества элементов ИУС | $\lambda_{25}$ | 10 | 10 | 30 |
| 6 | на определение ресурсного обеспечения системы, исходя из количества связей между элементами ИУС | $\lambda_{35}$ | 20 | 20 | 50 |
| 7 | на определение ресурсного обеспечения системы, исходя из количества технических средств, на элементах ИУС | $\lambda_{45}$ | 50 | 50 | 100 |
| 8 | на контроль профиля: выполнение задач | $\lambda_{56}$ | 50 | 70 | 100 |
| 9 | на контроль профиля: выполнение функций | $\lambda_{57}$ | 20 | 30 | 50 |
| 10 | на контроль профиля: выполнение требований | $\lambda_{58}$ | 10 | 15 | 30 |
| 11 | на контроль профиля: выполнение целей | $\lambda_{59}$ | 10 | 10 | 10 |
| 12 | на контроль профиля: выполнение функций, исходя из выполняемых задач | $\lambda_{67}$ | 50 | 70 | 100 |
| 13 | на контроль профиля: выполнение требований, исходя из выполняемых функций | $\lambda_{78}$ | 20 | 30 | 50 |
| 14 | на контроль профиля: выполнение целей, исходя из выполняемых требований | $\lambda_{89}$ | 10 | 15 | 30 |
| 15 | на контроль профиля: выполнение регламента, характеризующего задачи ИУС | $\lambda_{610}$ | 50 | 70 | 100 |
| 16 | на контроль профиля: выполнение регламента, характеризующего функции ИУС | $\lambda_{710}$ | 20 | 30 | 50 |
| 17 | на контроль профиля: выполнение регламента, характеризующего требования ИУС | $\lambda_{810}$ | 10 | 15 | 30 |
| 18 | на контроль профиля: выполнение регламента, характеризующего целей ИУС | $\lambda_{910}$ | 1 | 5 | 5 |
| 19 | на анализ критичности элементов ИУС | $\lambda_{1011}$ | 10 | 15 | 15 |
| 20 | на анализ результатов контроля профиля и критичности элементов ИУС | $\lambda_{1112}$ | 50 | 70 | 100 |
| 21 | на обнаружение конфликта и критичности элементов ИУС | $\lambda_{1213}$ | 1 | 2 | 5 |
| 22 | на отсутствие обнаружения конфликта в системе и критичности ее элементов | $\lambda_{1214}$ | 9 | 15 | 50 |
| 23 | на формирование сценариев действий по устранению конфликтов и снижению критичности элементов ИУС | $\lambda_{1315}$ | 1 | 2 | 5 |
| 24 | на формирование сценариев действий ИУС | $\lambda_{1415}$ | 9 | 15 | 50 |
| 25 | на принятие системой решения по устранению конфликта, снижению критичности, синтез ИУС | $\lambda_{1516}$ | 1 | 2 | 3 |

Определяем интервал интегрирования, например: $t_0 = 0$, $t_1 = 2$ и число этапов интегрирования, например n = 1000.

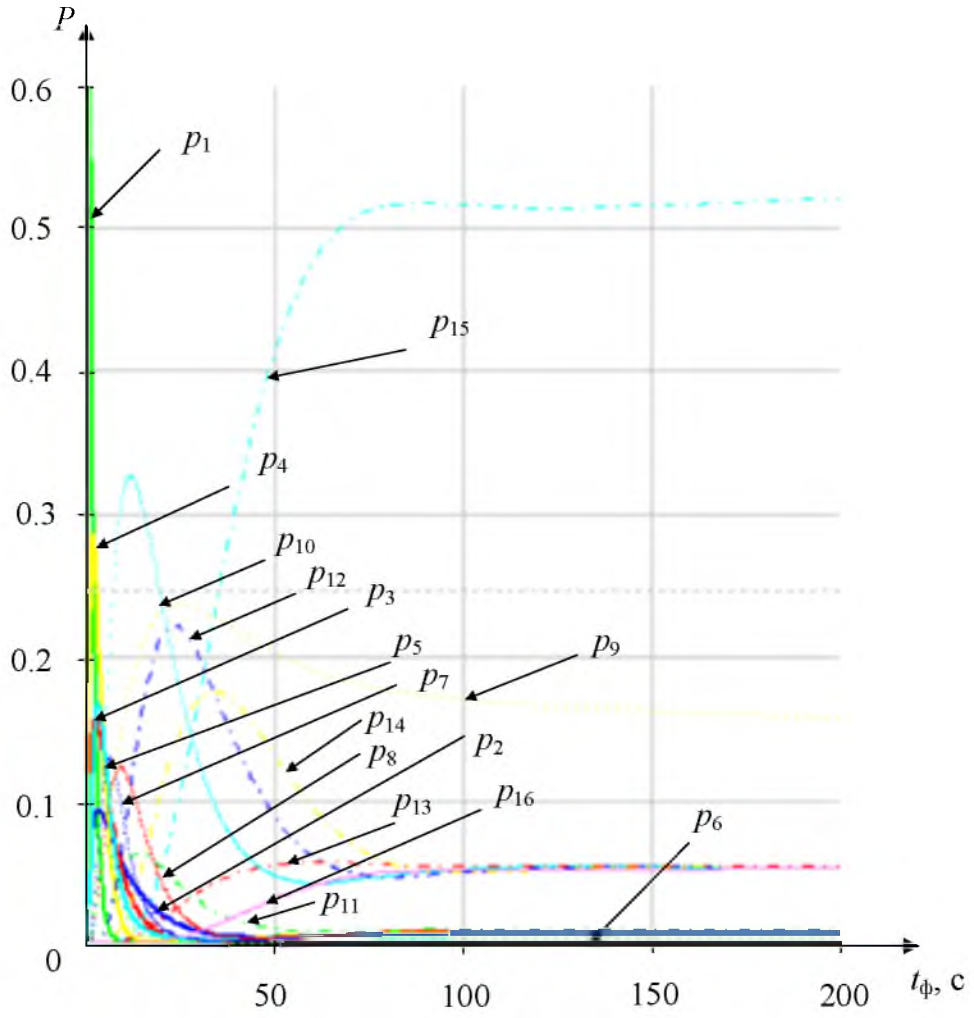



Рисунок 6.3 – Вероятностно-временные зависимости состояний процесса контроля функционирования ИУС для стратегии С1

На основании полученных результатов моделирования построены графики изменения вероятностей наступления событий процесса контроля функционирования ИУС для сценариев С1, С2 и С3 (рис. 6.3, 6.4, 6.5), которые показывают изменение состояния контроля функционирования системы. Анализ графиков показывает, что состояния процесса контроля переходят в стационарное состояние на уровне 1000 единиц модельного времени. Максимальные значения вероятностей нахождения системы контроля $p_2$, $p_3$, $p_4$ и $p_5$ в состояниях сбора данных о структуре ИУС на начальных этапах моделирования с последующим уменьшением, что говорит о необходимости минимального изменения структуры системы. При этом с увеличением интенсивности сбора данных (увеличением количества элементов в системе), которые характеризуются различными стратегиями вероятности нахождения системы контроля $p_2$, $p_3$, $p_4$ и $p_5$ в состояниях $S_2$, $S_3$, $S_4$ и $S_5$ уменьшаются.

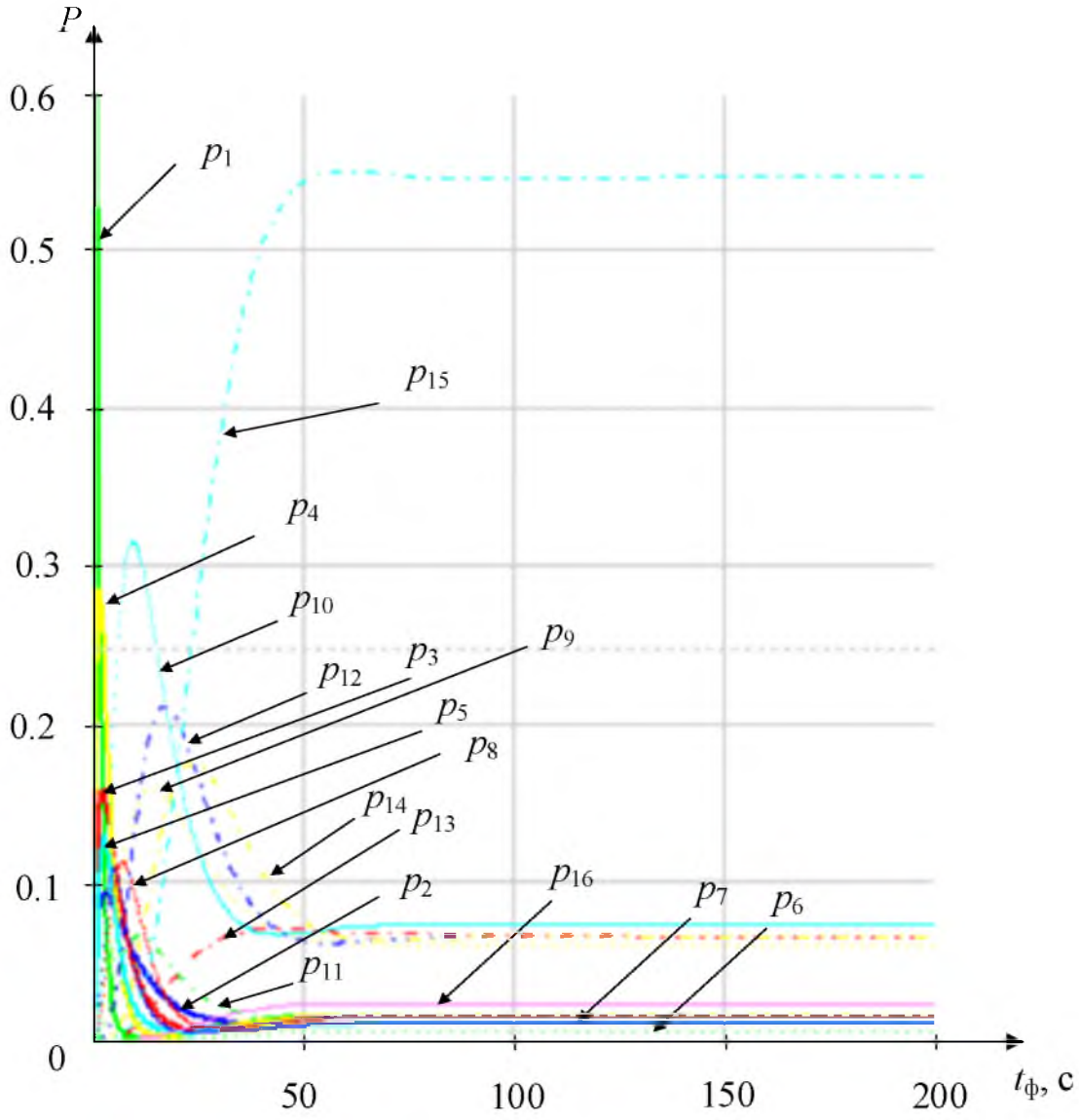



Рисунок 6.4 – Вероятностно-временные зависимости состояний процесса контроля функционирования ИУС для стратегии С2

Для сценариев изменения интенсивностей потоков событий, характеризующих процесс контроля функционирования ИУС получены графики вероятностных временных характеристик процесса контроля профиля функционирования ИУС и процесса формирования сценариев действий по устранению конфликтов в системе и снижению критичности ее элементов.

Рассмотрим более подробно процесс контроля профиля функционирования ИУС, вероятностно-временные характеристики для разных сценариев которого показаны на рисунках 6.6, 6.7 и 6.8. С увеличением интенсивности контроля профиля, т.е. увеличением количества контролируемых задач, функций, требований, предъявляемых к системе, максимальные значения вероятностей нахождения в состояниях $S_6$, $S_7$, $S_8$ уменьшаются.

Наибольшая вероятность нахождения процесса контроля в состоянии контроля регламента $S_{10}$ при большей интенсивности (контроле большего количества регламентов) достигается быстрее, при этом при сценарии С2 вероятность нахождения в состоянии $S_{10}$ быстрее переходит в стационарное состояние. Аналогичное явление наблюдается для состояния $S_9$.

Существенное изменение элементов ИУС, а также количества задач, функций, требований и целей для сценария С3 приводит к увеличению максимальной вероятности контроля регламента и снижению максимальных значений вероятностей контроля задач, функций, требований и целей.

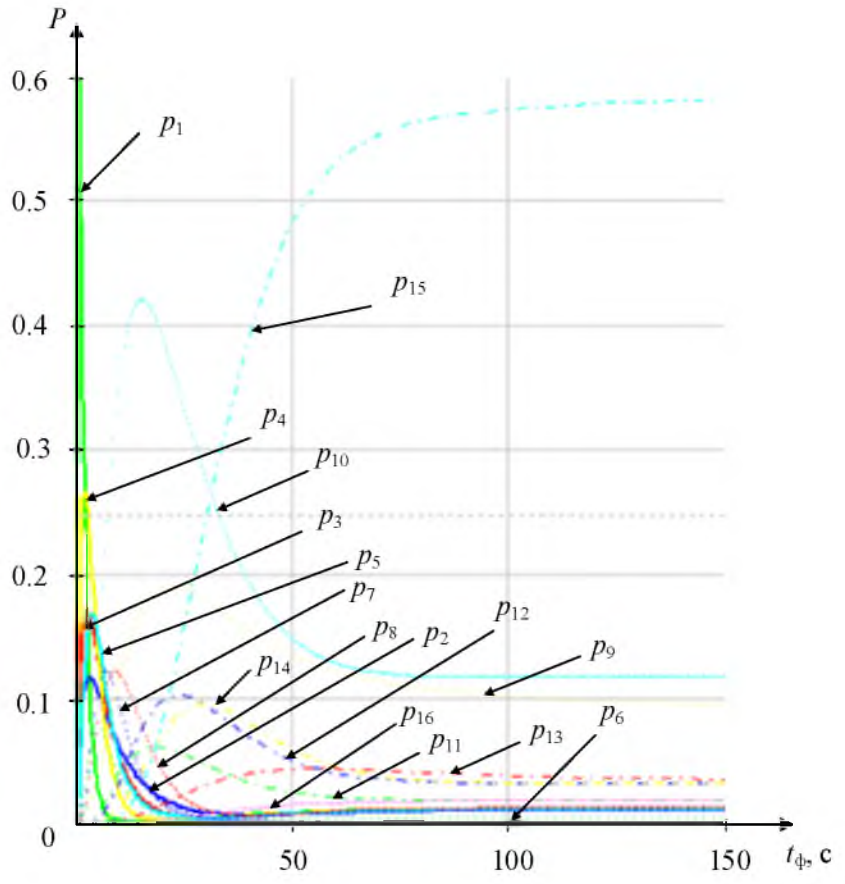



Рисунок 6.5 – Вероятностно-временные зависимости состояний процесса контроля функционирования ИУС для стратегии С3

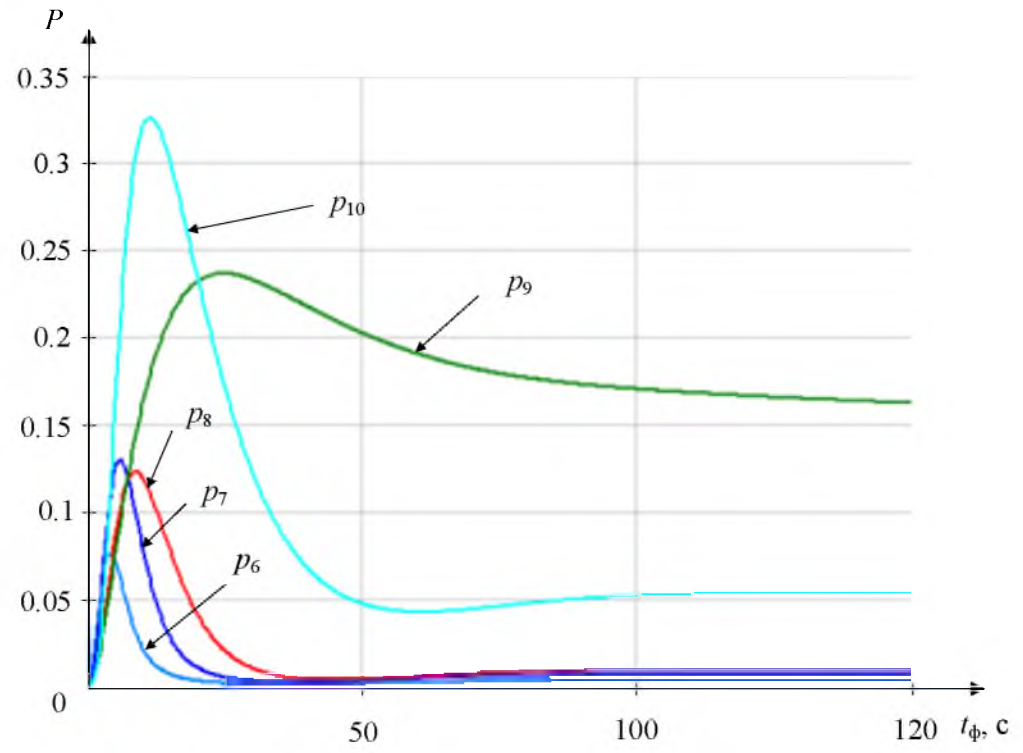



Рисунок 6.6 – Вероятностно-временные зависимости состояний процесса контроля профиля ИУС для стратегии С1

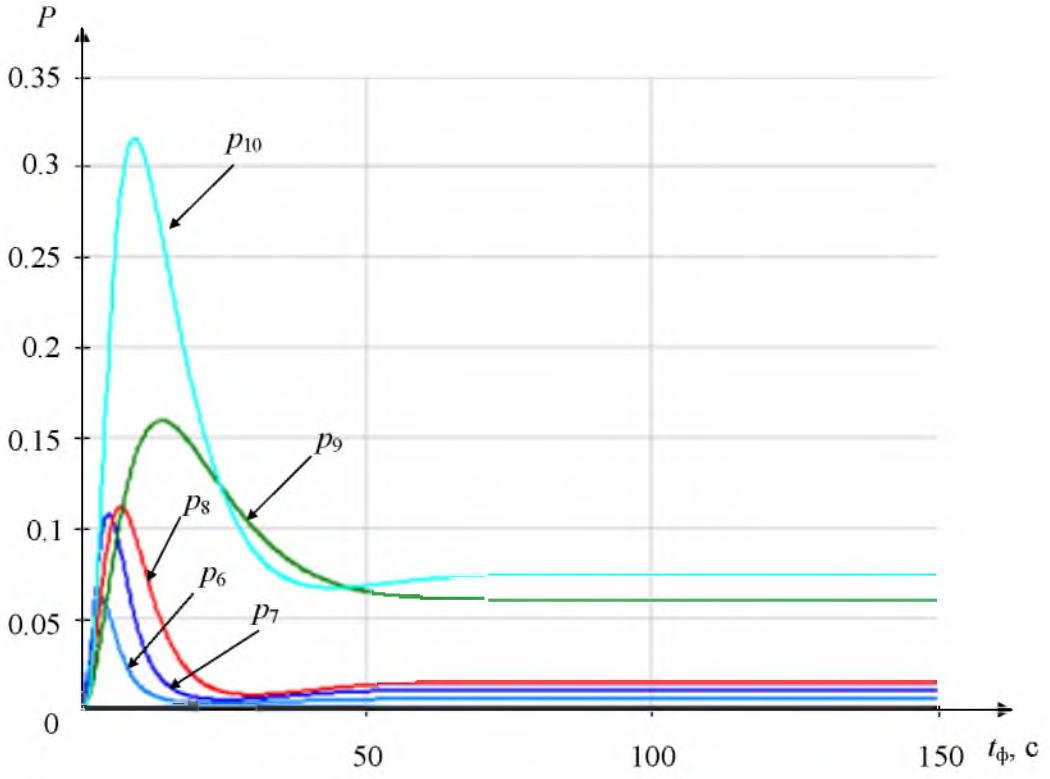



Рисунок 6.7 – Вероятностно-временные зависимости состояний процесса контроля профиля ИУС для стратегии С2

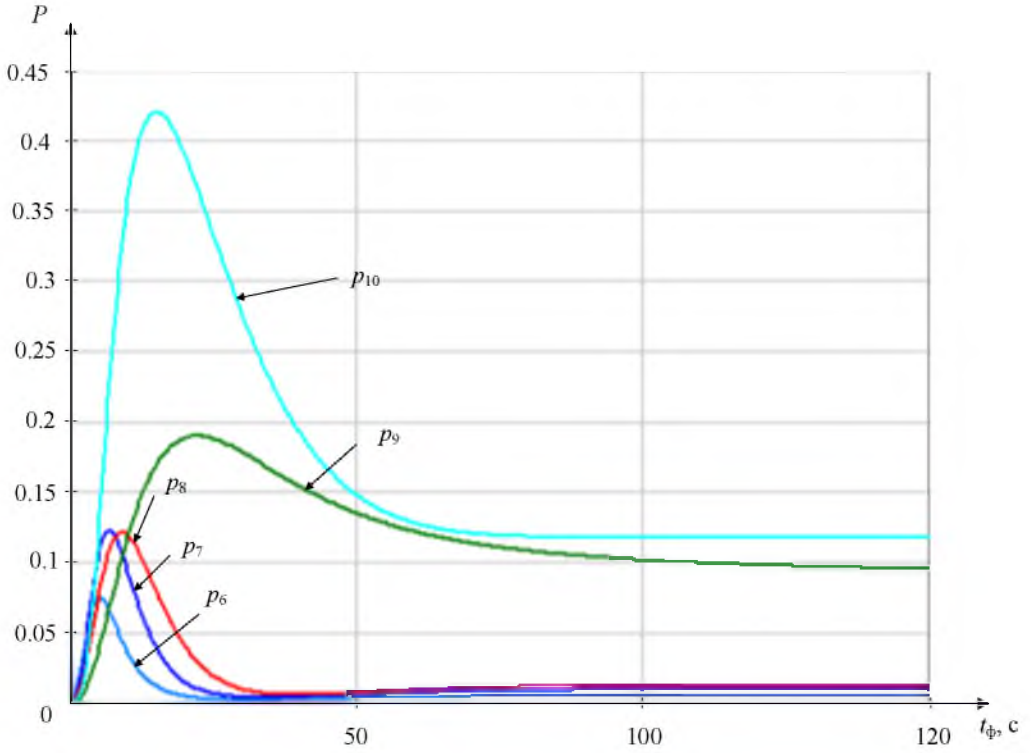



Рисунок 6.8 – Вероятностно-временные зависимости состояний процесса контроля профиля ИУС для стратегии С3

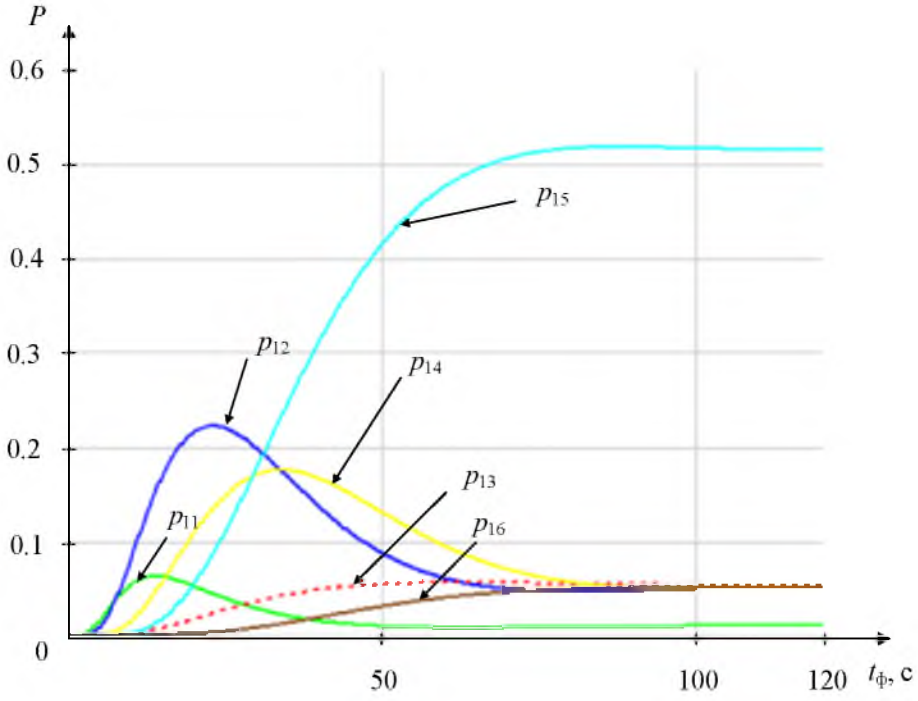



Рисунок 6.9 – Вероятностно-временные зависимости состояний анализа результатов контроля и принятия решения на устранение конфликтов в ИУС и снижению критичности ее элементов для стратегии С1

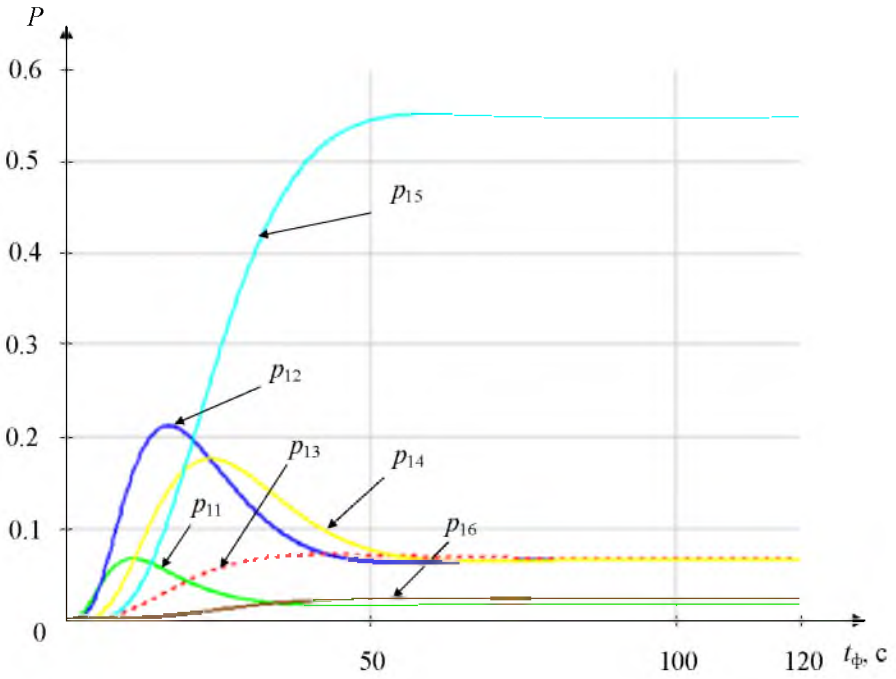



Рисунок 6.10 – Вероятностно-временные зависимости состояний анализа результатов контроля и принятия решения на устранение конфликтов в ИУС и снижению критичности ее элементов для стратегии С2

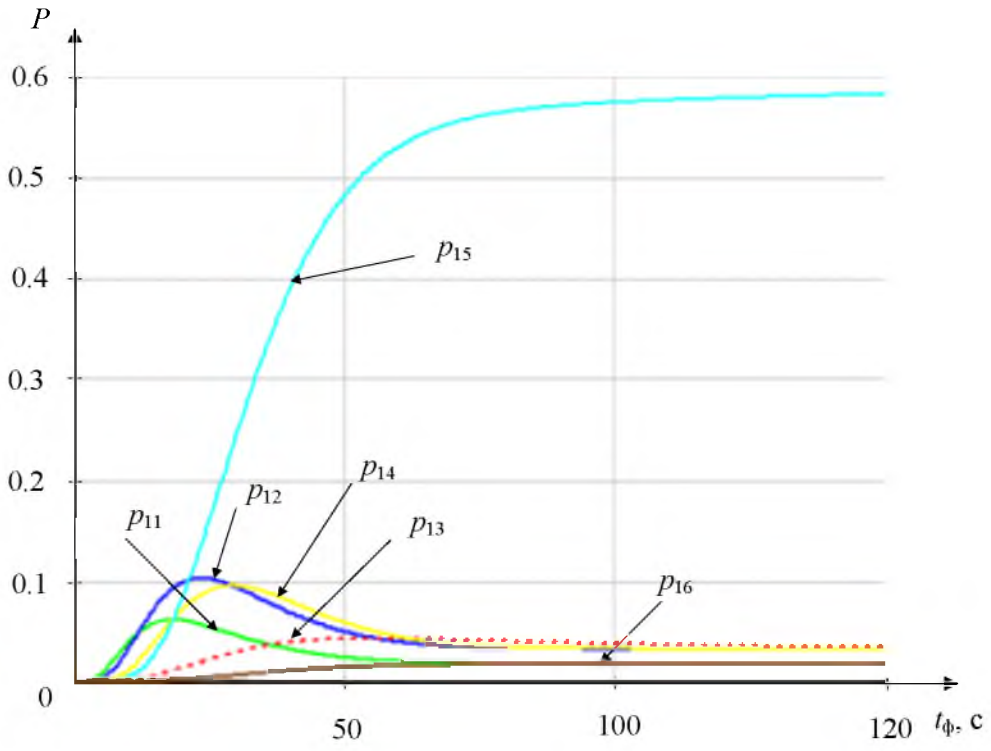



Рисунок 6.11 – Вероятностно-временные зависимости состояний анализа результатов контроля и принятия решения на устранение конфликтов в ИУС и снижению критичности ее элементов для стратегии С3

Анализ вероятностно-временных характеристик состояний анализа результатов

контроля и принятия решения на устранение конфликтов в ИУС и снижению критичности ее элементов для стратегии для сценариев С1 (рис. 6.9), С2 (рис. 6.10) и С3 (рис. 6.11) показывает, что ИУС с увеличением интенсивности контроля переходит в состояние отсутствия конфликтов и критичности в ИУС, что занимает меньшее время, при этом контроль переходит быстрее в стационарное состояние. При этом количество выявленных конфликтов и критических элементов уравновешивается действиями ИУС по устранению таких явлений. Вероятность формирования сценариев действий по устранению конфликтов и снижению критичности от С1 к С3 растет, что показывает, что с увеличением количества элементов в ИУС, задач и функций, возрастает интенсивность устранения нарушения функционирования системы.

## 6.4. Методика выявления конфликтов в процессе функционирования ИУС на основе профиля функционирования

НАЗНАЧЕНИЕ МЕТОДИКИ

Процесс управления включает в себя ряд обязательных мероприятий, таких как сбор и обобщение информации, планирование, реализация плана и контроль его выполнения во времени. Несомненно, любое из них имеет важное значение, однако качество управления и его эффективность определяются на основании результатов контроля, в первую очередь, степени выполнения профиля функционирования системы (плана). Процесс функционирования системы имеет целью выполнение ее целевого предназначения.

Основой обеспечения устойчивого функционирования СТС является своевременность и правильность обнаружения и устранения конфликтов в системе. Разработанная методика выявления конфликтов в системе предназначена для ИУС и ее элемента – подсистемы (системы) контроля, как основа обеспечения процесса устойчивого функционирования ИУС. Она может использоваться должностным лицам в системе контроля и управления для определения состояния процесса функционирования ИУС и своевременной реакции изменения в нем. Определение типов конфликтов, их характера и условий возникновения, а также последствий их наступления позволит обеспечить выполнение целевого предназначения системы.

Таким образом, исходя из особенностей и предназначения методики использование ее будет направлено на последовательное решение следующих задач:

анализ структуры ИУС функционирующей в интересах ЛПР;

анализ возможностей ИУС по предоставлению ресурсов для выполнения задач и функций, формирование структурно-функциональной модели системы;

формализация задач и требований системы управления в виде профиля функционирования ИУС (плана), задающего правило функционирования системы;

осуществление контроля выполнения профиля функционирования ИУС (плана) путем формирования профиля процесса функционирования системы и сравнение профилей, выявление конфликтов в системе, обусловленных несоответствием профилей;

выявление несовпадений профиля функционирования ИУС и профиля процесса функционирования ИУС.

Своевременное обнаружение конфликта в системе и правильное реагирование на него до момента окончания ее выполнения путем синтеза системы позволит гарантированно выполнить задачу и обеспечить ФУ ИУС, независимо от характера воздействия ДФ и ее элемента, на который осуществлено воздействие.

Таким образом, необходимо решить оптимизационную задачу выявления максимального количества конфликтов в системе за минимально возможное время в процессе всего времени, что выполняется целевое предназначение системы при большом количестве элементов профиля.

Целевая функция выглядит следующим образом

$$\underset{t\to\infty, n\to\infty, n_{ДВ}\to\infty}{\left\langle Q \neq Q_p, \right\rangle} \to \max \;\mid\; n \in N, n_{ДВ} \in N_{ДВ}. \quad (6.1)$$

где $Q$ – профиль функционирования ИУС; $Q_p$ – профиль процесса функционирования ИУС $N$ – количество элементов профиля функционирования ИУС, $N_{ДВ}$ – количество дестабилизирующих воздействий на ИУС.

Перейдем к описанию исходных данных.

Исходные данные методики

*Исходные данные, характеризующие структуру ИУС:* количество элементов в системе $i = \overline{1, N_y}$, где $N_y$ – общее количество элементов в системе, количество связей, соединяющих элементы ИУС, $k = \overline{1, L}$, где $L$ – общее количество линий связи в системе, количество технических средств, находящихся на элементах системы и позволяющих формировать связи, при этом направления связи между элементами задаются парами $<i, m>$ $\in L$, $i \in N_y$, $m \in N_y$, $j = \overline{1, N_c}$, $N_c$ – общее количество технических средств на каждом элементе ИУС и $l(j)$ – количество режимов функционирования каждого $j$- го средства, $\lambda_G$ $(i, \lambda_i)$ – множество, задающее нагрузку от каждого элемента системы в виде интенсивности потока сообщений $\lambda_i$ от $i$ - го УС; $F_{\lambda_i}(t)$ – закон распределения интенсивности потока $\lambda_i$;

*Исходные данные, характеризующие противоборствующую сторону*: $N_{ДВ}$ – количество дестабилизующих воздействий на систему.

Далее сформулируем показатели, критерии, ограничения и допущения, принятые в разрабатываемой методике.

Показатели, критерии, ограничения, допущения, принятые в методике

**Показателем:** вероятность обнаружения конфликта в ИУС с использование ее профиля функционирования.

**Критерием** $P_{\text{обнар}} \leq P_{\text{обнар зад}}$; $t_{\text{обнар зад}} > t_{\text{обнар}}$.

**Допущения и ограничения**:

структура ИУС задана и неизменна в течение времени выявления и реакции на возникновение каждого конфликта функционирования системы;

рассматриваются только результаты воздействия, приводящие к нарушению профиля процесса функционирования;

ресурсное обеспечение системы достаточно для выполнения профиля функционирования системы;

ИУС имеет ограниченный ресурс, позволяющий варьировать параметры элементов.

Последовательность выполнения действий

Как следует из ограничений и допущений, принятых в методике, ИУС функционирует с выполнением требований, предъявляемых к ней, при этом на нее осуществляется воздействие различных ДФ, приводящих к нарушению процесса функционирования системы, что может приводить к несоответствию профиля процесса функционирования профилю функционирования системы.

В процессе функционирования ИУС осуществляется формирование профиля процесса функционирования системы. При нарушении функционирования ИУС могут возникать случаи несоответствия профилей друг другу, определяемые в работе как конфликт профилей. В этом случае, могут возникать следующие типы конфликтов:

конфликт одиночного профиля, определяемый по ресурсу или задаче системы;

конфликт группового профиля, определяемый по задачам, функциям, целям и требованиям системы.

При этом, возникновение такой ситуации определяется:

отсутствием ресурса или его части для выполнения профиля;

использованием требуемого ресурса для выполнения другого профиля;

наличием ресурса, но невозможности (неготовности) его применения для выполнения профиля.

Рассмотрение конфликта профиля в системе рассматривается во времени и пространстве, как физический объект, изменяющий свое состояние.

Математически в общем виде, возникновение конфликта можно представить в следующем виде [338-392]:

$$Q \not\in Q_p,\ Q \neq Q_p,$$

в этом случае, профили процесса функционирования не соответствует профилю функционирования ИУС.

Это подразумевает, что один или несколько одиночных или групповых профилей из профиля процесса функционирования ИУС не соответствуют соответствующим профилям из профиля функционирования системы, тогда:

для одиночных профилей

$$Q_0 \not\in Q_{0р},\ Q_0 \neq Q_{0р};$$

для групповых профилей

$$Q_{гр} \not\in Q_{гр\,р},\ Q_{гр} \neq Q_{гр\,р}.$$

Изменение состояния системы и ее профилей во времени будет определяться регламентами, подразумевающими порядок и сроки выполнения одиночных и групповых профилей. Задержки в выполнении профиля также будут приводить к конфликту профилей системы. Регламент в профиле ИУС будет определяться, как

$$Q_R = \{Q_0;\ t\},\ Q_R = \{Q_{гр};\ t\},$$

тогда возникновение конфликта регламента будет определяться, как

$$Q_R \not\in Q_{R\,р},\ Q_R \neq Q_{R\,р}.$$

Для обеспечения устойчивого функционирования системы должно быть минимизировано количество конфликтов в системе, в первую очередь за счет прогнозирования состояния системы и выполнения ею профиля функционирования, а также принятием мер, позволяющих его выполнить.

## 6.5. Методика обеспечения функциональной устойчивости

Назначение методики

Усложнение системы, увеличение ее возможностей, большая динамика изменения состояния системы и ее элементов определяют потребность в информации о состоянии системы, происходящих в ней процессах. Информация о состоянии ИУС позволит системе управления своевременно влиять на нее для обеспечения ее устойчивого функционирования.

При оценке функциональной устойчивости не учитывается осведомленность злоумышленника, его уровень подготовки, квалификация и техническое оснащение, а также характер воздействия и фактор влияющий на системы [195, 322, 393], учитывается

только результат воздействия на ИУС, который приводит к нарушению устойчивого функционирования системы и ее элементов, т.е. невыполнению ею функций и задач.

Разработанная методика обеспечения ФУ ИУС в условиях воздействия на нее и ее элементы ДФ предназначена для должностных лиц, занимающихся планированием в ИУС, а также лиц которые принимают решение в этой системы, т.е. лиц, занимающихся управлением системы, и позволяет определить периодичность синтеза системы для обеспечения требуемой ФУ.

Время, необходимое для синтеза системы, определяет интервал проверки готовности к выполнению задачи, которая выполняется в системе.

Синтез системы будет представлять собой функциональный синтез, заключающийся в перераспределении ресурсов для выполнения задач и задач для выполнения функций, и структурный синтез системы, включающий перестроение физической основы системы.

Таким образом, методика обеспечения функциональной устойчивости ИУС направлена на последовательное решение следующих задач:

анализ структуры ИУС функционирующей в интересах системы управления;

анализ возможностей ИУС по предоставлению ресурсов для выполнения задач и функций, формирование структурно-функциональной модели системы;

формализация задач и требований системы управления в виде профиля функционирования ИУС (плана), задающего правило функционирования системы;

осуществление контроля выполнения профиля функционирования СТС (плана) путем формирования профиля процесса функционирования системы и сравнение профилей, выявление конфликтов в системе, обусловленных несоответствием профилей;

определение времени, необходимого для синтеза ИУС для обеспечения функциональной устойчивости, т.е. гарантированного выполнения системой необходимого количества функций и задач.

Своевременное обнаружение конфликта в системе и правильное реагирование на него до момента окончания ее выполнения путем синтеза системы позволит гарантированно выполнить задачу и обеспечить функциональную устойчивость ИУС, независимо от характера воздействия дестабилизирующих факторов и элемента ИУС на который осуществлено воздействие.

Таким образом, необходимо решить оптимизационную задачу, заключающуюся в максимально короткие сроки выявить конфликт и за счет минимально необходимого количества изменяемых ресурсов системы обеспечить достижения требуемого уровня функциональной устойчивости СТС.

Целевая функция выглядит следующим образом

$$\left\langle W\left(\vec{E}, j\right), F\right\rangle \to \min \Delta \vec{E} \mid k_{ФУ} \le k_{\text{ФУ тре}}, j \in N, \quad (6.2)$$

где $W\left(\vec{E}, j\right)$– упорядоченное множество векторов ресурсов ИУС, обеспечивающих функционирование системы и выполнение целевого предназначения ИУС; $j \in N$ – количество элементов ИУС, характеризующих структуру системы; $F$ – интенсивность вариации элементов ИУС, позволяющих предоставлять ей требуемый ресурс; $k_{ФУ}$ – коэффициент функциональной устойчивости системы; $k_{ФУ\ треб}$ – требуемый коэффициент функциональной устойчивости системы.

Выходные результаты методики обеспечения функциональной устойчивости ИУС в условиях воздействия дестабилизирующих факторов и наличия конфликта в системе $\left\langle W\left(\vec{E}, j\right), F\right\rangle$.

Перейдем к описанию исходных данных.

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ МЕТОДИКИ

*Исходные данные, характеризующие структуру* ИУС*:* количество элементов в системе $i = \overline{1, N_y}$, где $N_y$ – общее количество элементов в системе, количество связи, соединяющих элементы СТС, $k = \overline{1, L}$, где $L$ – общее количество линий связи в системе, количество технических средств, находящихся на элементах ИУС и позволяющих формировать связи, при этом направления связи между элементами задаются парами <$i$, $m$> $\in L$, $i \in N_y$, $m \in N_y$, $j = \overline{1, N_c}$, $N_c$ – общее количество технических средств на элементах ИУС и $l(j)$ – количество режимов функционирования каждого $j$- го средства, $\lambda_G$ ($i$, $\lambda_i$) – множество, задающее нагрузку от каждого элемента СТС в виде интенсивности потока сообщений $\lambda_i$ от $i$ - го УС; $F_{\lambda_i}(t)$ – закон распределения интенсивности потока $\lambda_i$;

*Исходные данные, характеризующие функциональную составляющую* ИУС: множество целей $A = \{A_1, A_2, \ldots, A_a\}$, множество требований, предъявляемых к системе $T = \{T_1, T_2, \ldots, T_n\}$, множество функций, выполняемых системой $F = \{F_1, F_2, \ldots, F_c\}$, множество задач, решаемых системой $Z = \{Z_1, Z_2, \ldots, Z_d\}$ и множество ресурсов системы $E = \{E_1, E_2, \ldots, E_m\}$, обеспечивающих ее функционирование.

*Исходные данные, характеризующие противоборствующую сторону*: $N_{ДВ}$ – количество датчиков обнаружения дестабилизующих воздействий; $L_{ДВ}(n_{ДВ}, i)$ – множество, задающее привязку датчиков обнаружения дестабилизирующих воздействий $n_{ДВ}$, $n_{дв} = \overline{1, N_{дв}}$ к узлам ИУС $i$, $i \in N_y$; $\lambda_{ДВ}(n_{ДВ}, \lambda_{n_{ДВ}})$ – множество, задающее интенсивность воздействия дестабилизирующих факторов со стороны каждого датчика в

виде интенсивности потока $\lambda_{n_{\text{ДВ}}}$ от $n_{\text{ДВ}}$-го датчика; $F_{\lambda_{n_{\text{ДВ}}}}(t)$ – закон распределения интенсивности потока $\lambda_{n_{\text{ДВ}}}$.

*Исходные данные, характеризующие* достоверность (α) и точность (ε) моделирования.

Далее сформулируем показатели, критерии, ограничения и допущения, принятые в разрабатываемой методике.

**Показателем:** вероятность устойчивого функционирования ИУС.

**Критерием** $P_{\text{наруш функ}} \le P_{\text{наруш функ зад}}$; $t_{\text{уст функц}} > T_{\text{функц зад}}$.

**Допущения и ограничения**:

структура ИУС задана и неизменна в течение времени ее функционирования (соответствует времени моделирования);

связи между элементами ИУС, а также линии привязки элементов ИУС и других систем обладают известной и достаточной пропускной способностью. Они подвержены воздействию противоборствующей стороны с вероятность $P_{\text{возд}}$;

воздействия приводящие к нарушению структуры ИУС, т.е. удаление элементов системы и линий связи не рассматриваются;

элементы системы характеризуются требуемой производительностью;

передача сообщений пользователей между узлами осуществляется по известному алгоритму. В соответствии с алгоритмом, выбирается кратчайший маршрут для передачи сообщений;

ИУС имеет ограниченный ресурс, позволяющий варьировать параметры элементов.

Последовательность проведения расчетов

Как следует из ограничений и допущений, принятых в методике, ИУС функционирует с выполнение требований, предъявляемых к ней, при этом на нее осуществляется воздействие различных дестабилизирующих факторов, приводящих к нарушению процесса функционирования системы, т.е. невыполнению задач и функций системы.

Задача обеспечения функциональной устойчивости решается реализацией обратной связи через синтез ИУС на основании результатов контроля выполнения профиля функционирования системы (плана) и своевременного реагирования на появление конфликтов, обусловленных его невыполнением.

Последовательность применения разработанной методики обеспечения функциональной устойчивости ИУС состоит из этапов, представленных на рис. 6.12.

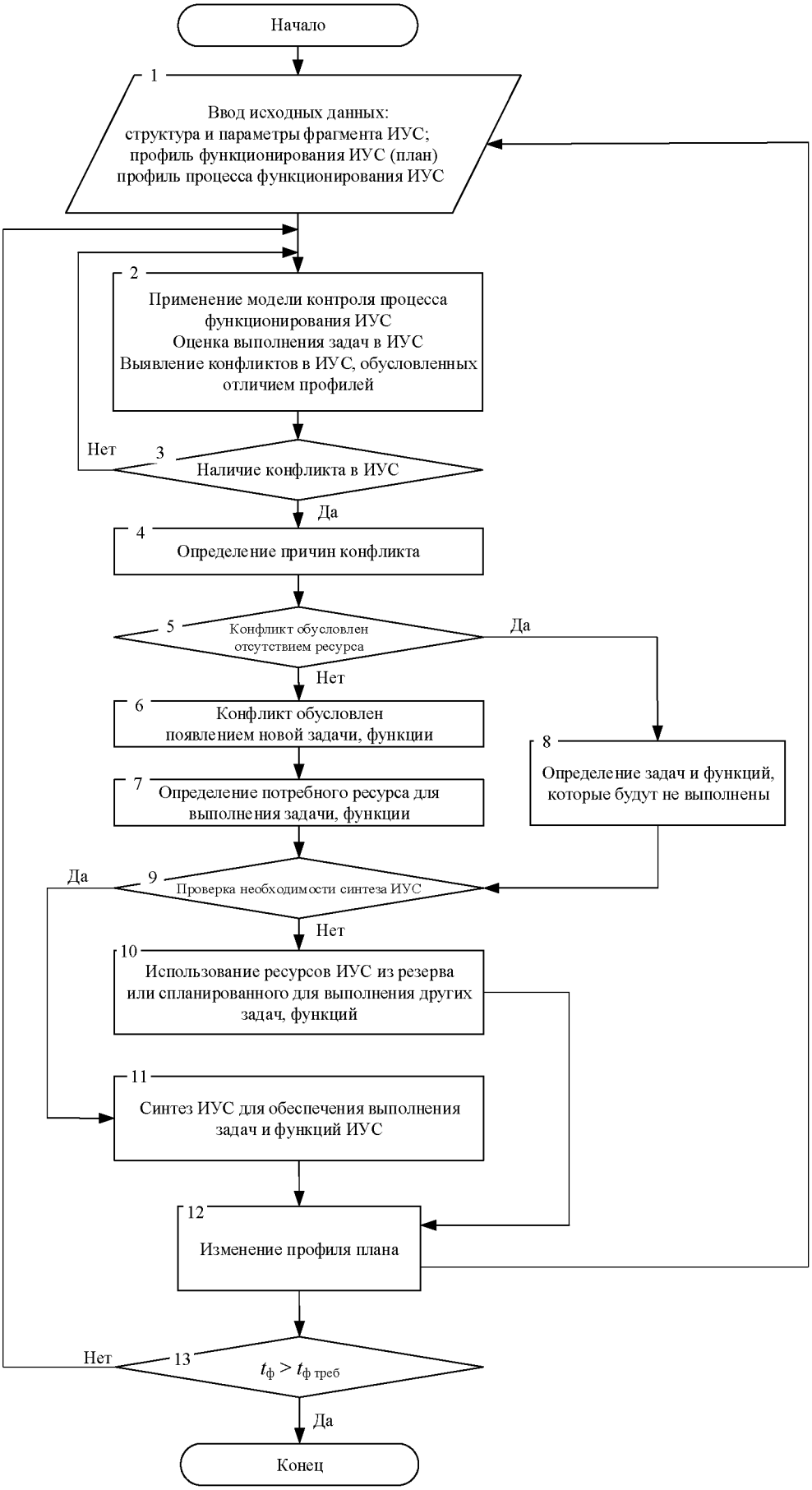



Рисунок 6.12 – Блок-схема последовательности применения методики

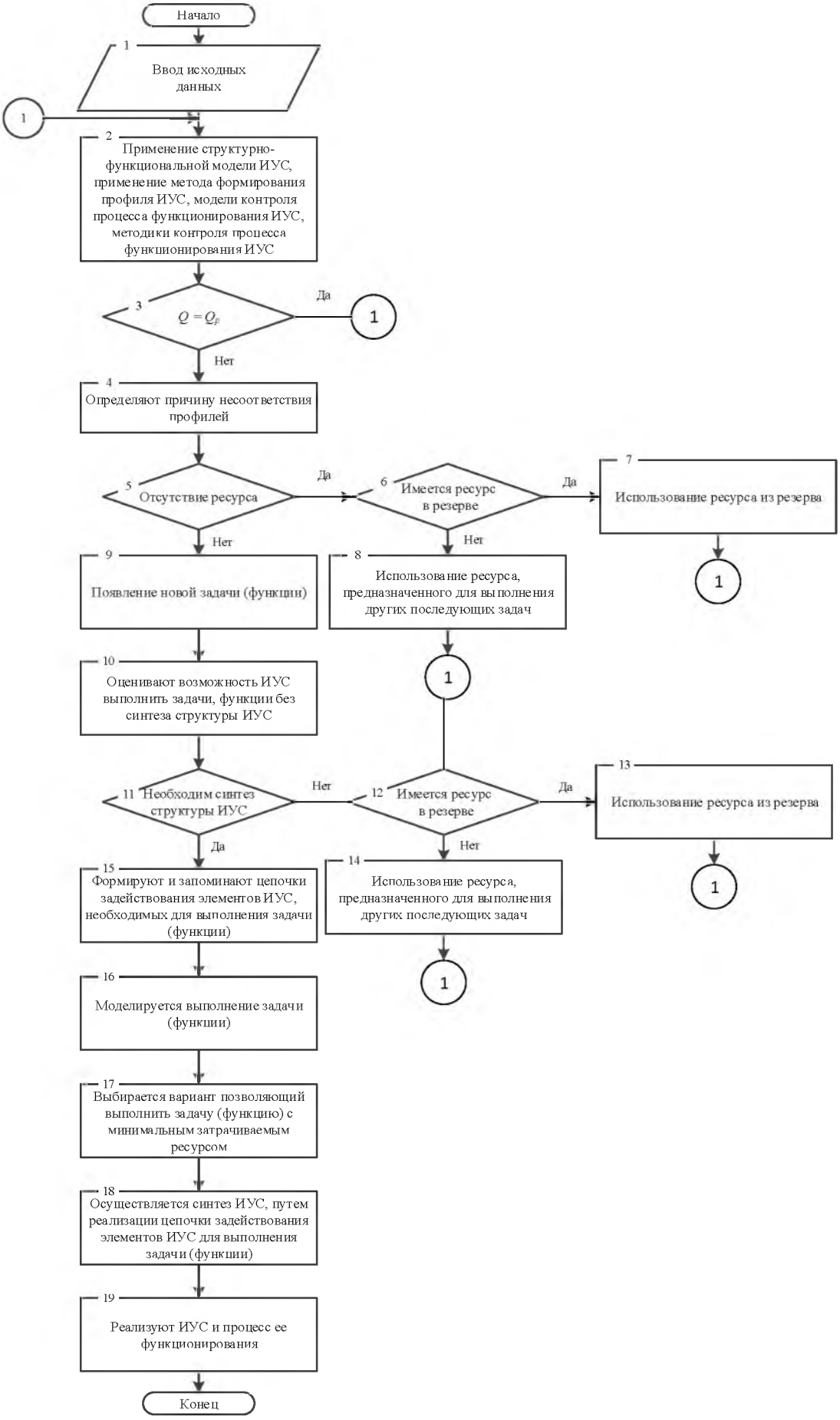



Рисунок 6.13 – Блок-схема синтеза ИУС для обеспечения ФУ

На первом этапе вводятся исходные данные согласно перечня, представленного ранее. Второй этап реализован в структурно-функциональной модели ИУС, позволяющей определять возможности системы по выполнению функций и задач.

В процессе функционирования ИУС на третьем этапе осуществляется контроль выполнения профиля функционирования (плана). При обнаружении конфликта в системе, обусловленного отличием профиля процесса функционирования ИУС от профиля функционирования ИУС (плана), определяют причины возникновения конфликта – на четвертом.

На пятом этапе проверяется обусловлено возникновение конфликта отсутствием ресурса или нет. Если да, то в восьмом анализируются на выполнение каких задач и функций будет влиять отсутствие ресурса. Если нет, то на 6 этапе проверяется возникновение конфликта из-за появления новой задачи, функции. На 7 этапе определяется потребный ресурс системы для выполнения новой задачи, функции.

Оценивается необходимость синтеза системы сначала по функциональному предназначению, потом по структуре системы – на девятом.

При отсутствии необходимости синтеза системы на 10 этапе используется ресурс из резерва или ресурсы, запланированные для выполнения других задач, функций, которые в данный момент не используются.

На 11 этапе, при необходимости, осуществляют синтез ИУС для обеспечения выполнения задач, функций.

На 12 этапе изменяют профиль функционирования ИУС (план) и предоставляют информацию о произведенном синтезе системы и измененном профиле на этап 1, где формируются исходные данные.

При достижении требуемого (заданного) времени функционирования ИУС на этапе 13 оценивают необходимость дальнейшего контроля процесса функционирования системы.

Рассмотрим подробнее порядок синтеза ИУС, соответствующий блоку 11 рисунка 6.12 (рис. 6.13).

Действия, выполняемые в блоке 1 соответствуют первому этапу методики. Исходные данные формируются в системе контроля процесса функционирования ИУС и поступают в базу данных, где формируются характеристики профиля процесса функционирования и профиля функционирования ИУС (плана).

В блоке 2 на основании применения структурно-функциональной модели ИУС, применения методов формирования профиля, модели контроля процесса функционирования системы и методики контроля процесса функционирования, осуществляется формирование профилей и контроль выполнения профиля

функционирования ИУС (плана).

В блоке 3 осуществляется сравнение профилей. Если условие выполняется, то продолжается контроль выполнения профиля, если условие не выполняется и профили не соответствуют, то в блоке 4 определяют причину несоответствия профилей.

Проверяется наличие ресурса для выполнения профиля функционирования ИУС (плана) в блоке 5, если ресурс отсутствует, то в блоке 6 проверяется наличие ресурсов в резерве, если в резерве есть, то используется в блоке 7 ресурс из резерва для выполнения профиля функционирования ИУС (плана). Если в резерве ресурс отсутствует, то используется ресурс, предназначенный для выполнения последующих задач в блоке 8.

Если ресурс имеется для выполнения профиля функционирования ИУС (плана), а конфликт обусловлен появлением новой задачи (функции) блок 9, то оценивается возможность системы выполнить новую задачу (функцию) без синтеза ее структуры блок 11.

Если необходимости синтеза структуры нет, то в блоке 12 проверяется наличие ресурса в резерве для выполнения новой задачи (функции). При наличии ресурса в резерве, в блоке 13 он используется для выполнения новой задачи (функции), при отсутствии – в блоке 14 используется ресурс, предназначенный для выполнения последующих задач.

В блоке 15 формируют и запоминают цепочки задействования элементов ИУС, необходимых для выполнения новой задачи (функции).

В блоке 16 моделируется выполнение цепочкой элементов новой задачи (функции).

В блоке 17 выбирается вариант задействования элементов ИУС, позволяющий выполнить задачу (функцию) с минимальной затратой ресурса.

В блоке 18 осуществляется синтез ИУС, путем реализации цепочек задействования элементов системы для выполнения новой задачи (функции).

После получения необходимых данных, запоминают их и производят развертывание ИУС (блок 19).

Определение интенсивности синтеза ИУС в разработанной методике выполнено с помощью математической модели, описывающей процесс функционирования ИУС. Процесс функционирования ИУС в условиях воздействия различных дестабилизирующих факторов, приводящих к конфликтам, обусловленным несоответствием профиля функционирования ИУС (плана) и профиля процесса функционирования, и реализации способов их обнаружения и устранения может быть формализован в виде графа (рис. 6.14).

Вершины графа обозначают состояния процесса, ребра – переходы из одного состояния в другое. Выделены пять состояний ($S_1$-$S_5$) (табл. 6.1). Отличия этих состояний заключаются в условиях, в которых функционирует система в заданный момент времени.

Приведенное множество состояний является полной группой событий. Переходы между состояниями (рис. 6.14), определяются на основе характера анализируемого процесса.

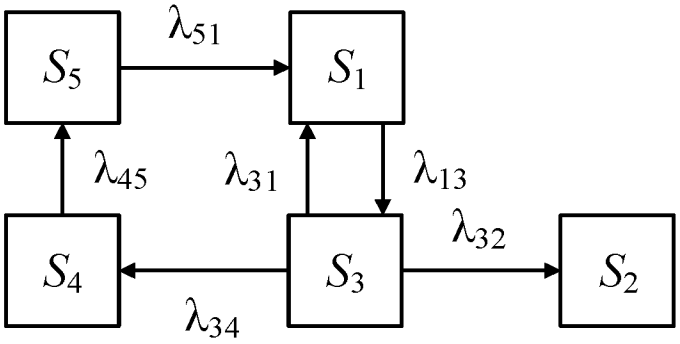



Рисунок 6.14 – Граф состояний ИУС

Таблица 6.3 – Дискретные состояния моделируемой ИУС

| № п/п | Состояние | Процессы, характеризующие состояния | Входящий поток | Исходящий поток |
|---|---|---|---|---|
| 1 | $S_1$ | Система функционирует с заданными показателями функциональной устойчивости. Формируется профиля функционирования ИУС (плана) и профиль процесса функционирования ИУС, в процессе контроля ее функционирования. | $\lambda_{31}, \lambda_{51}$ | $\lambda_{13}$ |
| 2 | $S_2$ | Нарушение устойчивого функционирования ИУС | $\lambda_{32}$ | |
| 3 | $S_3$ | Выявление конфликта в системе контроля, обусловленное отличием профилей | $\lambda_{13}$ | $\lambda_{31}, \lambda_{32}, \lambda_{34}$ |
| 4 | $S_4$ | Формирование вариантов устранения конфликта (формирование нового профиля функционирования ИУС (плана)), моделирование процесса функционирования ИУС в соответствии с новым вариантом профиля функционирования ИУС (плана). | $\lambda_{34}$ | $\lambda_{45}$ |
| 5 | $S_5$ | Синтез системы в соответствии с новым профиля функционирования ИУС (плана) и полученными данными моделирования. | $\lambda_{45}$ | $\lambda_{51}$ |

При разработке вышеописанной модели использовалась следующая логика. На самом высоком уровне система может быть описана только двумя состояниями (рис. 6.14, *а*), которые означают, что система функционирует с заданными показателями функциональной устойчивости (состояние 1), или устойчивость функционирования ИУС нарушена (состояние 2). Нарушение функционирования системы обусловлено воздействием различных дестабилизирующих факторов, независимо от их природы, при этом результатом такого воздействия является отсутствие у системы возможности выполнить необходимый перечень задач и функций (состояние 3) (рис. 6.14, *б*). Из состояния 1 выделены два дополнительных состояния в соответствии с предлагаемой методикой обеспечения функциональной устойчивости ИУС состояние моделирования

функционирования системы в соответствии с новым профилем функционирования ИУС (плана) (состояние 4) и состояние синтеза ИУС (состояние 5) (рис. 6.14, *в*).

Корректность и адекватность представленной модели основана на ее соответствии общим закономерностям функционирования систем.

Оценка эффективности функционирования ИУС с возможностью синтеза системы и ее элементов для обеспечения функциональной устойчивости связана с необходимостью моделирования в режиме реального времени. Это обусловливает целесообразность использования математического аппарата марковских случайных процессов, необходимое условие которого – потоки событий являются простейшими, т. е. обладают свойствами стационарности, ординарности и не имеют последействий [394].

Таким образом, процесс функционирования рассматриваемой ИУС можно представить, как марковский случайный процесс с дискретными состояниями и непрерывным временем [395].

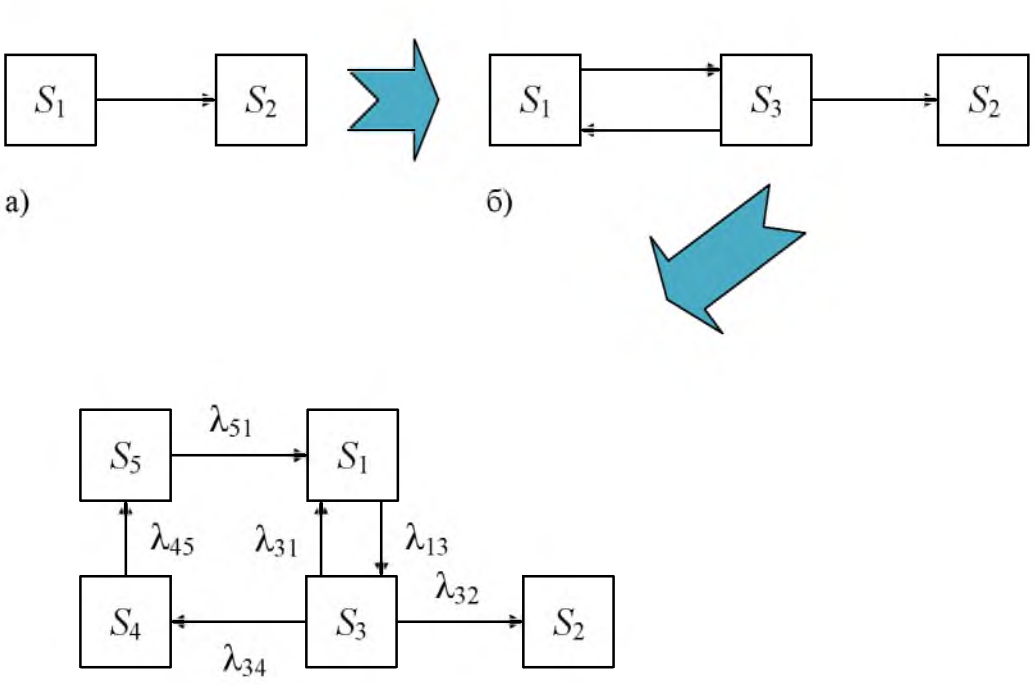



Рисунок 6.15 – Процесс построения модели функционирования ИУС

Моменты возможных переходов ИУС из состояния в состояние случайны и происходят под действием потоков событий, которые характеризуются интенсивностями $\lambda_{ij}$. Процесс функционирования исследуемой ИУС характеризуется следующими потоками событий:

$\lambda_{13}$ – поток заявок воздействия на ИУС различных ДФ – интенсивность

возникновения конфликтов в системе;

$\lambda_{32}$ – поток заявок при невозможности выполнения функций и задач – переход в нерабочее состояние;

$\lambda_{31}$ – поток заявок на переход в первое состояние (дестабилизирующее воздействие не оказало влияние на устойчивое функционирование ИУС);

$\lambda_{14}$ – поток заявок на моделирование возможных состояний системы;

$\lambda_{45}$ – поток заявок на синтез системы в соответствии с модельными параметрами (формируемым профилем функционирования ИУС (плана));

$\lambda_{51}$ – поток заявок на переход в первое состояние после синтеза ИУС.

Разработанная модель функционирования СТС в условиях воздействия различных дестабилизирующих факторов, учитывающая интенсивность возникновения конфликтов обусловленных несоответствием профилей, долю успешных воздействий, нарушающих устойчивое функционирование ИУС, а также процесс моделирования возможных состояний системы, ее элементов, а также синтез ее элементов. Использование модели предполагает поиск необходимых значений интенсивности синтеза системы и ее элементов для достижения требуемого уровня функциональной устойчивости ИУС.

Учет в марковской модели времени пребывания системы в каждом из состояний в зависимости от стратегий взаимодействующих сторон позволит исследовать временную динамику изменения состояния ИУС и ее элементов в процессе функционирования при использовании процедур моделирования и синтеза.

Рассмотрим сценарий перехода моделируемой системы из состояния $S_i$ в состояние $S_j$ под воздействием потоков событий с интенсивностями $\lambda_{ij}$.

Пусть $S_1$ – состояние функционирования моделируемой ИУС в соответствии с заданными требованиями. В данном состоянии выполняется измерение статических и динамических параметров элементов системы, параметров, характеризующих процесс функционирования системы и ее элементов, параметров, характеризующих ее структуру, определяется количество выполняемых задач, выполненных и планируемых к выполнению.

В состояние $S_1$ система переходит в следующих случаях:

успешное завершение синтеза ИУС и переход в состояние штатного функционирования под воздействием потока заявок $\lambda_{51}$;

возвращение в рабочее состояние после успешного устранения воздействия ДФ, определение возможности обеспечения ФУ ИУС без необходимости синтеза системы и формирования нового профиля функционирования ИУС (плана) (замена элемента системы, ресурса, взятого из резерва или ресурса, спланированного для другой задачи) под воздействием потока заявок $\lambda_{31}$.

В случае, если в рабочем состоянии системы не выполняются заданные требования по ФУ, система переходит в состояние моделирования $S_4$ под воздействием потока заявок $\lambda_{14}$.

Изменение интенсивности потока заявок $\lambda_{14}$, переводящих систему в состояние моделирования и синтеза, позволяет поддерживать вероятность обеспечения ФУ, на уровне не превышающем допустимое значение.

В состоянии моделирования производится последовательное изменение параметров элементов системы по алгоритму (см. рис. 6.14). После выбора оптимальных значений параметров производится синтез системы (переход в состояние $S_5$ под воздействием потока заявок $\lambda_{45}$) и переход в рабочее, ФУ состояние $S_1$ под воздействием потока заявок $\lambda_{51}$.

В состоянии синтеза производится изменение параметров системы и ее элементов, характеризующих функционирование системы или изменение ее структуры для выполнения потребного набора задач и функций.

Интенсивность изменения параметров зависит от активности воздействия ДФ, интенсивности и количества возникающих конфликтов в системе, а также ее возможностей по реализации профиля функционирования ИУС (плана).

По размеченному графу состояний (см. рис. 6.15), строится математическая модель функционирования системы.

Моделируемая система может находиться в одном из состояний $S_1$, $S_2$, ..., $S_5$. Вероятность $p_i(t)$ того, что в момент времени $t$ система будет находиться в состоянии $S_i$ называется вероятностью $i$-го состояния. По размеченному графу состояний ИУС составлены согласно правилам [387] уравнения Колмогорова – линейные дифференциальные уравнения с неизвестными функциями $p_i(t)$:

$$\begin{cases} \dfrac{dp_1(t)}{dt} = \lambda_{31}p_3(t) + \lambda_{51}p_5(t) - \lambda_{13}p_1(t); \\ \dfrac{dp_2(t)}{dt} = \lambda_{32}p_3(t); \\ \dfrac{dp_3(t)}{dt} = \lambda_{13}p_1(t) - (\lambda_{31} + \lambda_{32} + \lambda_{34})p_3(t); \\ \dfrac{dp_4(t)}{dt} = \lambda_{34}p_3(t) - \lambda_{45}p_4(t); \\ \dfrac{dp_5(t)}{dt} = \lambda_{45}p_4(t) - \lambda_{51}p_5(t); \\ \sum\limits_{i=1}^{5} p_i(t) = 1. \end{cases} \tag{6.3}$$

Для системы уравнений задаются начальные условия. Исходя из возможных состояний, вектор вероятностей начальных состояний марковской цепи в начальный момент времени имеет вид

$$p_i(0) = \left((1 - P_{\text{нарушфунк}})\ P_{\text{нарушфункц}}\ 0\ 0\ 0\right). \quad (6.4)$$

Для конкретных исходных данных начальное состояние системы определяется структурно-функциональной моделью ИУС.

Задавая численные значения интенсивностей λ (табл. 6.4) и переходя к непрерывному времени $t \to \infty$, решается система линейных дифференциальных уравнений (ЛДУ) (2) с постоянными коэффициентами (однородный марковский процесс). Для любого момента времени $t$ сумма всех вероятностей состояний равна единице

$$\sum_{i=1}^{5} p_i(t) = 1. \quad (6.5)$$

Характер выбранных значений интенсивностей определяется в соответствии со стратегиями, а также заданными исходными данными.

Учет в марковской модели времени пребывания ИУС в каждом из состояний в зависимости от стратегий позволяет исследовать временную динамику ее функционирования, то есть оценить время устойчивого функционирования ИУС.

В качестве исходных данных для моделирования выступают:

система ЛДУ (6.3);

вектор вероятностей начальных состояний (6.4);

значения интенсивностей потоков событий (табл. 6.3);

нормировочное условие (6.5).

Система ЛДУ представляет собой систему уравнений, связывающую независимую переменную $t$, искомые функции $p_1 = p_1(t)$, $p_2 = p_2(t)$, … и их производные: $S_i(t, p_1(t), p_2(t), ..., p'_1(t), p'_2(t), ...) = 0$, где $i = 1,2,\ldots$.

Решения задач для системы ЛДУ можно разделить на три группы [387]:

приближенно-аналитические методы;

графические или машинно-графические методы;

численные методы.

Численные методы предполагают получение приближенных значений $p_i$ искомых решений $p(t)$ на некотором интервале $t \in [t_0; t_1]$. Применение к полученной числовой таблице значений $p_i$ способа аппроксимации, например, сплайн-интерполяции, позволяет иметь приближенное решение $p(t)$ на заданном интервале времени, что по сравнению с другими методами решения, позволяет решать поставленную прикладную задачу и оценивать ее возможности.

Недостатки методов Эйлера и других численных методов решения более высоких порядков [386, 387], заключающиеся в необходимости вычисления на каждом шаге частных производных функции $S$ ($t$, $p$), что приводит к большой вычислительной сложности,

предопределили выбор в качестве метода решения системы ЛДУ выбран классический метод – метод Рунге-Кутта четвертого порядка с фиксированным шагом интегрирования, имеющий вид (6.6), где $h$ – приращение, соответствующее шаговой поправке Эйлера, $\Delta p_i$ – средневзвешенная величина поправок $h\eta^1{}_i$, $h\eta^2{}_i$, $h\eta^3{}_i$, $h\eta^4{}_i$ каждого этапа интегрирования (с весовыми коэффициентами $\frac{1}{6}$, $\frac{2}{6}$, $\frac{2}{6}$, $\frac{1}{6}$ соответственно), то есть результат усреднения с указанными коэффициентами четырехэтапных поправок.

Первый этап соответствует применению явного метода Эйлера, четвертый – неявного, а второй и третий – уточненных методов Эйлера. Геометрическое толкование метода известно и описано [387]:

$$\begin{cases} \eta_1^i = S(t_i, p_i); \\ \eta_2^i = S(t_i + h/2, p_i + \eta_1^i \cdot h/2); \\ \eta_3^i = S(t_i + h/2, p_i + \eta_2^i \cdot h/2); \\ \eta_4^i = S(t_i + h, p_i + \eta_3^i \cdot h); \\ \Delta p_i = (\eta_1^i + 2\eta_2^i + 2\eta_3^i + \eta_4^i \cdot) h/6; \\ p_{i+1} = p_i + \Delta p_i. \end{cases} \tag{6.6}$$

Дополнительное обоснование необходимости использования метода Рунге-Кутта заключается в том, что для решения приведенной системы уравнений (6.3) методов исключения или Эйлера недостаточно, поскольку в ней присутствует уравнение, связывающее функции $p_i(t)$ вместе.

Приводим систему (6.3) к векторному представлению – столбец $D$, где каждый элемент соответствует правой части определенного дифференциального уравнения в системе:

$$D(t, p) = \begin{cases} \lambda_{31} p_3(t) + \lambda_{51} p_5(t) - \lambda_{13} p_1(t); \\ \lambda_{32} p_3(t); \\ \lambda_{13} p_1(t) - (\lambda_{31} + \lambda_{32} + \lambda_{34}) p_3(t); \\ \lambda_{34} p_1(t) - \lambda_{45} p_4(t); \\ \lambda_{45} p_4(t) - \lambda_{51} p_5(t). \end{cases} \tag{6.7}$$

Используя известный [386, 387] порядок решения системы ЛДУ методом Рунге-Кутта, учитывая вектор вероятностей начальных состояний $p_i(0)$, интервал интегрирования $[t_0; t_1]$ и число этапов интегрирования $n$, производится расчет для заданных значений интенсивностей событий $\lambda_{ij}$ = const (марковский однородный процесс) (табл. 6.4). Это позволит получить приближенные значения $p_i$ искомых решений $p(t)$ на некотором интервале $t \in [t_0; t_1]$ (табл. 6.5).

Таблица 6.4 – Интенсивности потоков событий для каждой из стратегий

| № п/п | Интенсивность потока событий | λ | Значения интенсивностей потоков событий для стратегии | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | C1 | C2 | C3 | C4 | C5 | C6 | C7 | C8 | C9 | C10 | C11 |
| 1 | на воздействие на ИУС различных ДФ – интенсивность возникновения конфликтов в системе | $\lambda_{13}$ | 1 | 10 | 10 | 50 | 50 | 50 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 2 | на переход в состояние моделирования состояний | $\lambda_{14}$ | 0 | 0 | 5 | 0 | 10 | 10 | 0 | 0 | 10 | 20 | 30 |
| 3 | на синтез системы | $\lambda_{45}$ | 0 | 0 | 5 | 0 | 10 | 10 | 0 | 0 | 10 | 20 | 30 |
| 4 | на переход в рабочее состояние после синтеза ИУС или ее элемента | $\lambda_{51}$ | 0 | 0 | 5 | 0 | 10 | 10 | 0 | 0 | 10 | 20 | 30 |
| 5 | на восстановление работоспособности системы после воздействия ДФ | $\lambda_{31}$ | 1 | 9 | 9 | 45 | 45 | 40 | 99 | 90 | 90 | 90 | 90 |
| 6 | на переход в неработоспособное состояние после воздействия | $\lambda_{32}$ | 0 | 1 | 1 | 5 | 5 | 10 | 1 | 10 | 10 | 10 | 10 |

Применяя к полученной числовой таблице значений $p_i$ аппроксимацию, например, сплайн-интерполяцию, получим приближенное решение $p(t)$ на заданном интервале времени.

Метод позволяет получить вероятностно-временные характеристики, описывающие состояния ИУС в условиях воздействия ДФ и возникновения конфликтов в системе, положенные в основу исследования процесса функционирования системы при различных стратегиях взаимодействующих сторон (табл. 6.4), что позволяет оценивать ФУ ИУС на каждом шаге модельного времени.

Таблица 6.5 – Приближенные решения $p_i(t)$

| Этапы интегрирования, $n$ | Точка интервала интегрирования, $[t_0, t_1]$ | $p(t)$ | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | $p_1(t)$ | $p_2(t)$ | $p_3(t)$ | $p_4(t)$ | $p_5(t)$ |
| 1 | $t_0$ | $p_1(t_0)$ | $p_2(t_0)$ | $p_3(t_0)$ | $p_4(t_0)$ | $p_5(t_0)$ |
| … | … | … | … | … | … | … |
| $n$ | $t_1$ | $p_1(t_1)$ | $p_2(t_1)$ | $p_3(t_1)$ | $p_4(t_1)$ | $p_5(t_1)$ |

Учитывая формальное описание процесса функционирования системы, получаем вероятность нарушения функционирования ИУС $P_{\text{наруш функц}} = p_2(t)$.

Требуется оценить устойчивость модели к различным значениям исходных данных. Зададим граничные значения в различных стратегиях функционирования взаимодействующих сторон.

Исходные данные для расчета: система ЛДУ (2), вектор вероятностей начальных состояний (6.4), нормировочное условие (6.5), значения интенсивностей потоков событий задаем постоянными (табл. 6.4) в соответствии с выбранной стратегией взаимодействия сторон, например, стратегией С2 (табл. 6.4).

Определяем интервал интегрирования, например: $t_0 = 0$, $t_1 = 1$ и число этапов интегрирования, например n = 1000. Приводим систему (6.3) к векторному представлению, где каждый элемент соответствует правой части определенного дифференциального уравнения в системе с заданными значениями интенсивностей событий:

$$D(t,p)=\begin{cases}9p_3(t)+0p_5(t)-10p_1(t);\\ 1p_3(t);\\ 10p_1(t)-(9+1+0)p_3(t);\\ 0p_1(t)-0p_4(t);\\ 0p_4(t)-0p_5(t).\end{cases} \qquad (6.8)$$

Производим расчет по методу Рунге-Кутта со средневзвешенной величиной поправок каждого этапа интегрирования (6.6) и получаем приближенные значения $p_i$ на интервале с фиксированным шагом интегрирования $10^{-3}$ (табл. 6.6). Расчет произведен с помощью пакета математического программирования «*MathCAD* 15».

Таблица 6.6 – Приближенные значений $p_i(t)$ для стратегии С1

| Этапы интегрирования, $n$ | Точка интервала интегрирования, $[t_0, t_1]$ | $p(t)$ | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | $p_1(t)$ | $p_2(t)$ | $p_3(t)$ | $p_4(t)$ | $p_5(t)$ |
| 1 | 0,001 | 0.999 | 0 | $0.99\cdot10^{-4}$ | 0 | 0 |
| 2 | 0,002 | 0.998 | 0 | 0.002 | 0 | 0 |
| 3 | 0,003 | 0.997 | 0 | 0.0029 | 0 | 0 |
| … | … | … | … | … | … | … |
| 999 | 0,999 | 0.568 | 0 | 0.432 | 0 | 0 |
| 1000 | 1,000 | 0.568 | 0 | 0.432 | 0 | 0 |

Применяем к полученной числовой таблице значений $p_i$ способ аппроксимации (сплайн-интерполяцию), имеем приближенное решение $p(t)$ на заданном интервале времени. Графики зависимостей вероятностей состояний процесса функционирования СТС $p_1(t)$, $p_2(t)$, …, $p_5(t)$ для значений интенсивностей событий, соответствующие стратегии С1

(табл. 6.6), представлены ниже (рис. 6.16).

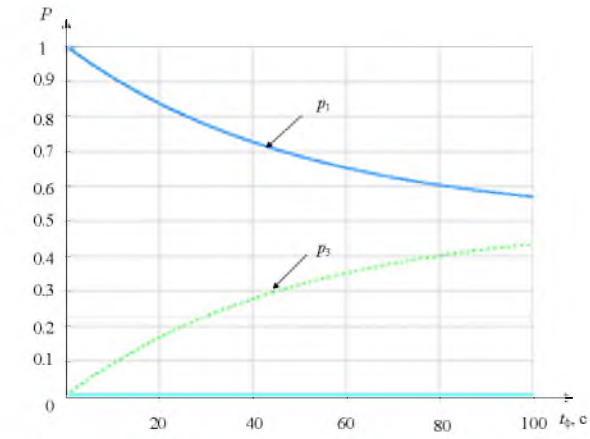



Рисунок 6.16 – Результаты расчета функции вероятностей состояний для значений интенсивностей событий, соответствующих стратегии С1

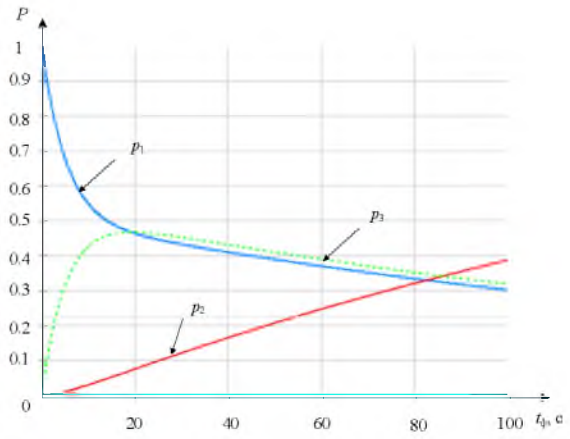



Рисунок 6.17 – Результаты расчета функции вероятностей состояний для значений интенсивностей событий, соответствующих стратегии С2

Характер выявленных зависимостей (см. рис. 6.16) говорит о том, что система еще не достигла стационарного состояния. При этом, низкая интенсивность воздействия ДФ и возникновения конфликтов в ИУС позволяет системе оставаться в функционально устойчивом состоянии.

Для исследования процесса функционирования ИУС при перечисленных стратегиях (см. табл. 6.6) и соответствующих им значений интенсивностей событий производится расчет вероятностных и временных характеристик согласно вышеизложенному примеру.

Получаем приближенные значений $p_i$ на интервале $t \in [t_0; t_1]$ с фиксированным шагом интегрирования $10^{-3}$ (табл. 6.7) для значений интенсивностей потоков событий, соответствующих стратегии С2 (увеличение интенсивности воздействия дестабилизирующих факторов и появления конфликтов в ИУС, см. табл. 6.4), сплайн-интерполяция значений которой представлена на графиках зависимостей вероятностей состояний от времени (рис. 6.17).

Таблица 6.7 – Приближенные значений $p_i(t)$ для стратегии С2

| Этапы интегрирования, $n$ | Точка интервала интегрирования, $[t_0, t_1]$ | $p(t)$ | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | $p_1(t)$ | $p_2(t)$ | $p_3(t)$ | $p_4(t)$ | $p_5(t)$ |
| 1 | 0,001 | 0.99 | $4.967 \cdot 10^{-6}$ | $9.901 \cdot 10^{-3}$ | 0 | 0 |
| 2 | 0,002 | 0.98 | $1.974 \cdot 10^{-5}$ | 0.02 | 0 | 0 |
| 3 | 0,003 | 0.971 | $4.411 \cdot 10^{-5}$ | 0.029 | 0 | 0 |
| … | … | … | … | … | … | … |
| 999 | 0,999 | 0.299 | 0.385 | 0.316 | 0 | 0 |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1000 | 1,000 | 0.299 | 0.385 | 0.315 | 0 | 0 |

Характер выявленных зависимостей (см. рис. 6.17) говорит о том, что система, аналогично сценарию С1, еще не достигла стационарного состояния. При этом, низкая интенсивность воздействия дестабилизирующих факторов и возникновения конфликтов в ИУС позволяет ей оставаться в функционально устойчивом состоянии. Рассмотрим поведение системы при увеличении интенсивности на переход в моделирование и синтез.

Приближенные значения $p_i$ на интервале $t \in [t_0;\ t_1]$ с фиксированным шагом интегрирования $10^{-3}$ для значений интенсивностей потоков событий, соответствующих стратегии С3 (применение механизма моделирования состояний и синтеза ИУС и ее элементов с малой интенсивностью, см. табл. 6.3) представлены в табл. 6.8, сплайн-интерполяция значений представлена на графиках зависимостей вероятностей состояний от времени (рис. 6.18).

Таблица 6.8 – Приближенные значения $p_i(t)$ для стратегии С3

| Этапы интегрирования, $n$ | Точка интервала интегрирования, $[t_0, t_1]$ | $p(t)$ | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | $p_1(t)$ | $p_2(t)$ | $p_3(t)$ | $p_4(t)$ | $p_5(t)$ |
| 1 | 0,001 | 0.99 | $4.959 \cdot 10^{-6}$ | $9.876 \cdot 10^{-3}$ | $2.475 \cdot 10^{-5}$ | $4.13 \cdot 10^{-8}$ |
| 2 | 0,002 | 0.98 | $1.967 \cdot 10^{-5}$ | 0.02 | $9.802 \cdot 10^{-5}$ | $3.276 \cdot 10^{-7}$ |
| 3 | 0,003 | 0.971 | $4.389 \cdot 10^{-5}$ | 0.029 | $2.184 \cdot 10^{-4}$ | $1.096 \cdot 10^{-6}$ |
| … | … | … | … | … | … | … |
| 999 | 0,999 | 0.25 | 0.216 | 0.169 | 0.178 | 0.187 |
| 1000 | 1,000 | 0.25 | 0.216 | 0.169 | 0.178 | 0.187 |

Характер выявленных зависимостей (см. рис. 6.18) говорит о том, что система, аналогично сценариям С1 и С2, еще не достигла стационарного состояния. При этом, низкая интенсивность воздействия ДФ и возникновения конфликтов в ИУС позволяет системе оставаться в функционально устойчивом состоянии. Рассмотрим поведение системы при увеличении интенсивности появления конфликтов в системе.

Приближенные значения $p_i$ на интервале $t \in [t_0;\ t_1]$ с фиксированным шагом интегрирования $10^{-3}$ для значений интенсивностей потоков событий, соответствующих стратегии С3 (применение механизма моделирования состояний и синтеза ИУС и ее элементов с малой интенсивностью, см. табл. 6.3) представлены в табл. 6.9, сплайн-интерполяция значений представлена на графиках зависимостей вероятностей состояний от времени (рис. 6.19). Время нарушения устойчивого функционирования системы с вероятностью $P_{\text{наруш функц}} = 70\%$ составляет 480 ед. модельного времени.

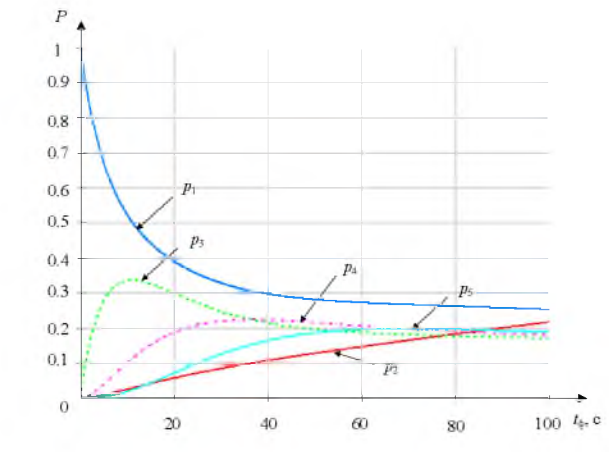



Рисунок 6.18 – Результаты расчета функции вероятности состояний для значений интенсивностей событий, соответствующих стратегии С3

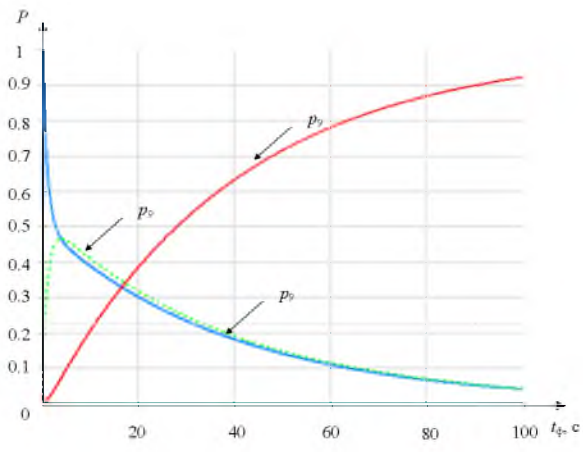



Рисунок 6.19 – Результаты расчета функции вероятности состояний для значений интенсивностей событий, соответствующих стратегии С4

Таблица 6.9 – Приближенные значения $p_i(t)$ для стратегии С4

| Этапы интегрирования, $n$ | Точка интервала интегрирования, $[t_0, t_1]$ | $p(t)$ | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | $p_1(t)$ | $p_2(t)$ | $p_3(t)$ | $p_4(t)$ | $p_5(t)$ |
| 1 | 0,001 | 0.952 | 1.209·10-4 | 0.048 | 0 | 0 |
| 2 | 0,002 | 0.909 | 4.682·10-4 | 0.091 | 0 | 0 |
| 3 | 0,003 | 0.869 | 1.02·10-3 | 0.13 | 0 | 0 |
| … | … | … | … | … | … | … |
| 999 | 0,999 | 0.39 | 0.921 | 0.041 | 0 | 0 |
| 1000 | 1,000 | 0.38 | 0.921 | 0.041 | 0 | 0 |

Таблица 6.10 – Приближенные значения $p_i(t)$ для стратегии С5

| Этапы интегрирования, $n$ | Точка интервала интегрирования, $[t_0, t_1]$ | $p(t)$ | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | $p_1(t)$ | $p_2(t)$ | $p_3(t)$ | $p_4(t)$ | $p_5(t)$ |
| 1 | 0,001 | 0.952 | $1.205 \cdot 10^{-4}$ | 0.047 | $2.403 \cdot 10^{-4}$ | $8.063 \cdot 10^{-7}$ |
| 2 | 0,002 | 0.909 | $4.652 \cdot 10^{-4}$ | 0.09 | $9.24 \cdot 10^{-4}$ | $6.25 \cdot 10^{-6}$ |
| 3 | 0,003 | 0.869 | $1.01 \cdot 10^{-3}$ | 0.128 | 0.002 | $2.044 \cdot 10^{-5}$ |
| … | … | … | … | … | … | … |
| 999 | 0,999 | 0.079 | 0.694 | 0.067 | 0.075 | 0.084 |
| 1000 | 1,000 | 0.079 | 0.694 | 0.067 | 0.075 | 0.084 |

Приближенные значения $p_i$ на интервале $t \in [t_0; t_1]$ с фиксированным шагом интегрирования $10^{-3}$ для значений интенсивностей потоков событий, соответствующих стратегии С5 (применение механизма моделирования состояний и синтеза ИУС и ее элементов с малой интенсивностью, см. табл. 6.3) представлены в табл. 6.10, сплайн-

интерполяция значений представлена на графиках зависимостей вероятностей состояний от времени (рис. 6.11).

Приближенные значения $p_i$ на интервале $t \in [t_0;\ t_1]$ с фиксированным шагом интегрирования $10^{-3}$ для значений интенсивностей потоков событий, соответствующих стратегии С6 (применение механизма моделирования состояний и синтеза ИУС и ее элементов с малой интенсивностью, см. табл. 6.3) представлены в табл. 6.10, сплайн-интерполяция значений представлена на графиках зависимостей вероятностей состояний от времени (рис. 6.11). Время нарушения устойчивого функционирования системы с вероятностью $P_{\text{наруш функц}} = 70\%$ составляет 503 ед. модельного времени.

Таблица 6.11 – Приближенные значения $p_i(t)$ для стратегии С6

| Этапы интегрирования, $n$ | Точка интервала интегрирования, $[t_0, t_1]$ | $p(t)$ | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | $p_1(t)$ | $p_2(t)$ | $p_3(t)$ | $p_4(t)$ | $p_5(t)$ |
| 1 | 0,001 | 0.952 | $2.411 \cdot 10^{-4}$ | 0.047 | $2.403 \cdot 10^{-4}$ | $8.063 \cdot 10^{-7}$ |
| 2 | 0,002 | 0.908 | $9.302 \cdot 10^{-4}$ | 0.09 | $9.239 \cdot 10^{-4}$ | $6.25 \cdot 10^{-6}$ |
| 3 | 0,003 | 0.868 | $2.02 \cdot 10^{-3}$ | 0.128 | 0.002 | $2.044 \cdot 10^{-5}$ |
| … | … | … | … | … | … | … |
| 999 | 0,999 | 0.026 | 0.889 | 0.022 | 0.028 | 0.035 |
| 1000 | 1,000 | 0.026 | 0.889 | 0.022 | 0.028 | 0.035 |

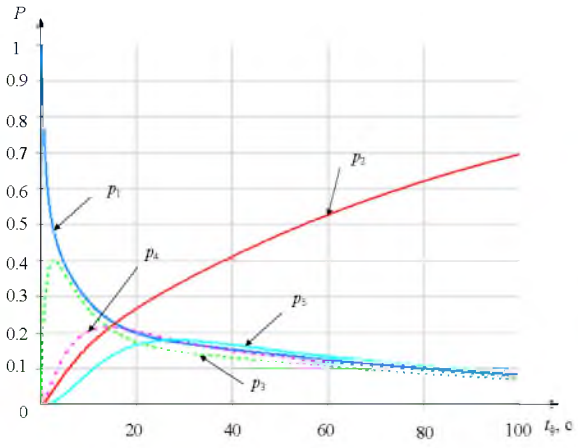



Рисунок 6.11 – Результаты расчета функции вероятности состояний для значений интенсивностей событий, соответствующих стратегии С5

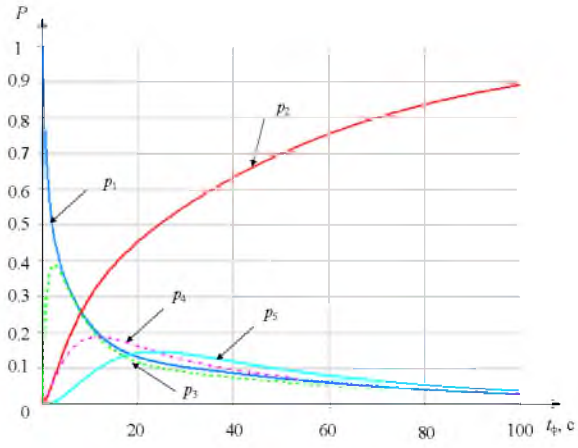



Рисунок 6.10 – Результаты расчета функции вероятности состояний для значений интенсивностей событий, соответствующих стратегии С6

Приближенные значения $p_i$ на интервале $t \in [t_0;\ t_1]$ с фиксированным шагом интегрирования $10^{-3}$ для значений интенсивностей потоков событий, соответствующих стратегии С5 (применение механизма моделирования состояний и синтеза ИУС и ее

элементов с малой интенсивностью, см. табл. 6.3) представлены в табл. 6.12, сплайн-интерполяция значений представлена на графиках зависимостей вероятностей состояний от времени (рис. 6.13).

Таблица 6.12 – Приближенные значения $p_i(t)$ для стратегии С7

| Этапы интегрирования, $n$ | Точка интервала интегрирования, $[t_0, t_1]$ | $p(t)$ | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | $p_1(t)$ | $p_2(t)$ | $p_3(t)$ | $p_4(t)$ | $p_5(t)$ |
| 1 | 0,001 | 0.909 | $4.683 \cdot 10^{-5}$ | 0.091 | 0 | 0 |
| 2 | 0,002 | 0.835 | $1.758 \cdot 10^{-4}$ | 0.165 | 0 | 0 |
| 3 | 0,003 | 0.774 | $3.72 \cdot 10^{-4}$ | 0.226 | 0 | 0 |
| … | … | … | … | … | … | … |
| 999 | 0,999 | 0.303 | 0.393 | 0.304 | 0 | 0 |
| 1000 | 1,000 | 0.303 | 0.393 | 0.304 | 0 | 0 |

Приближенные значения $p_i$ на интервале $t \in [t_0; t_1]$ с фиксированным шагом интегрирования $10^{-3}$ для значений интенсивностей потоков событий, соответствующих стратегии С8 (применение механизма моделирования состояний и синтеза ИУС и ее элементов с малой интенсивностью, см. табл. 6.3) представлены в табл. 6.13, сплайн-интерполяция значений представлена на графиках зависимостей вероятностей состояний от времени (рис. 6.14). Время нарушения устойчивого функционирования системы с вероятностью $P_{\text{наруш функц}} = 70\%$ составляет 240 ед. модельного времени.

Таблица 6.13 – Приближенные значения $p_i(t)$ для стратегии С8

| Этапы интегрирования, $n$ | Точка интервала интегрирования, $[t_0, t_1]$ | $p(t)$ | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | $p_1(t)$ | $p_2(t)$ | $p_3(t)$ | $p_4(t)$ | $p_5(t)$ |
| 1 | 0,001 | 0.909 | $4.683 \cdot 10^{-4}$ | 0.091 | 0 | 0 |
| 2 | 0,002 | 0.834 | $1.758 \cdot 10^{-3}$ | 0.165 | 0 | 0 |
| 3 | 0,003 | 0.771 | $3.718 \cdot 10^{-3}$ | 0.225 | 0 | 0 |
| … | … | … | … | … | … | … |
| 999 | 0,999 | $2.969 \cdot 10^{-3}$ | 0.994 | $3.129 \cdot 10^{-3}$ | 0 | 0 |
| 1000 | 1,000 | $2.953 \cdot 10^{-3}$ | 0.994 | $3.113 \cdot 10^{-3}$ | 0 | 0 |

Характер выявленных зависимостей (см. рис. 6.14) говорит о том, что при высокой интенсивности воздействия ДФ и возникновения конфликтов в ИУС, а также отсутствия перехода в режим моделирования и синтеза ИУС через малое время моделирования система переходит в неработоспособное состояние. Рассмотрим поведение системы при дальнейшем увеличении интенсивности перехода в состояние моделирования и синтеза ИУС с последующим переходом в функционально устойчивое состояние.

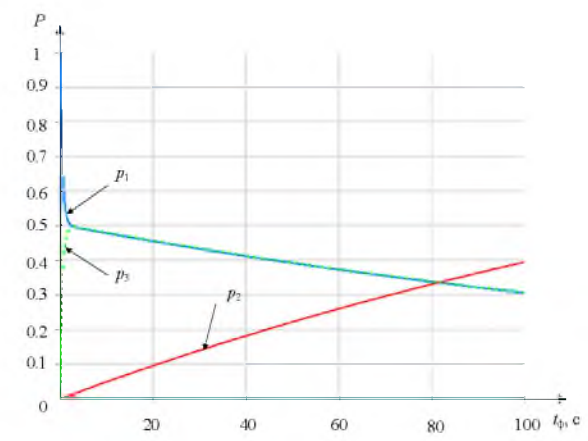



Рисунок 6.13 – Результаты расчета функции вероятности состояний для значений интенсивностей событий, соответствующих стратегии С7

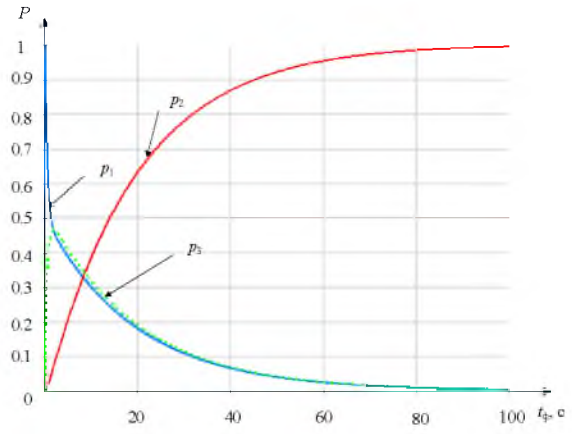



Рисунок 6.14 – Результаты расчета функции вероятности состояний для значений интенсивностей событий, соответствующих стратегии С8

Приближенные значения $p_i$ на интервале $t \in [t_0;\ t_1]$ с фиксированным шагом интегрирования $10^{-3}$ для значений интенсивностей потоков событий, соответствующих стратегии С9 (применение механизма моделирования состояний и синтеза ИУС и ее элементов с малой интенсивностью, см. табл. 6.3) представлены в табл. 6.14, сплайн-интерполяция значений представлена на графиках зависимостей вероятностей состояний от времени (рис. 6.15). Время нарушения устойчивого функционирования системы с вероятностью $P_{\text{наруш функц}}$ = 70% составляет 492 ед. модельного времени.

Таблица 6.14 – Приближенные значения $p_i(t)$ для стратегии С9

| Этапы интегрирования, $n$ | Точка интервала интегрирования, $[t_0, t_1]$ | $p(t)$ | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | $p_1(t)$ | $p_2(t)$ | $p_3(t)$ | $p_4(t)$ | $p_5(t)$ |
| 1 | 0,001 | 0.909 | $4.668 \cdot 10^{-4}$ | 0.09 | $4.652 \cdot 10^{-4}$ | $1.571 \cdot 10^{-6}$ |
| 2 | 0,002 | 0.833 | $1.74 \cdot 10^{-3}$ | 0.163 | $1.734 \cdot 10^{-3}$ | $1.191 \cdot 10^{-5}$ |
| 3 | 0,003 | 0.771 | $3.682 \cdot 10^{-3}$ | 0.222 | $3.643 \cdot 10^{-3}$ | $3.809 \cdot 10^{-5}$ |
| … | … | … | … | … | … | … |
| 999 | 0,999 | 0.023 | 0.893 | 0.022 | 0.027 | 0.034 |
| 1000 | 1,000 | 0.023 | 0.893 | 0.022 | 0.027 | 0.034 |

Приближенные значения $p_i$ на интервале $t \in [t_0;\ t_1]$ с фиксированным шагом интегрирования $10^{-3}$ для значений интенсивностей потоков событий, соответствующих стратегии С10 (применение механизма моделирования состояний и синтеза ИУС и ее элементов с малой интенсивностью, см. табл. 6.3) представлены в табл. 6.15, сплайн-

интерполяция значений представлена на графиках зависимостей вероятностей состояний от времени (рис. 6.16). Время нарушения устойчивого функционирования системы с вероятностью $P_{\text{наруш функц}}$ = 70% составляет 509 ед. модельного времени.

Таблица 6.15 – Приближенные значения $p_i(t)$ для стратегии С10

| Этапы интегрирования, $n$ | Точка интервала интегрирования, $[t_0, t_1]$ | $p(t)$ | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | $p_1(t)$ | $p_2(t)$ | $p_3(t)$ | $p_4(t)$ | $p_5(t)$ |
| 1 | 0,001 | 0.909 | $4.652 \cdot 10^{-4}$ | 0.09 | $9.242 \cdot 10^{-4}$ | $6.233 \cdot 10^{-6}$ |
| 2 | 0,002 | 0.833 | $1.735 \cdot 10^{-3}$ | 0.161 | $3.422 \cdot 10^{-3}$ | $4.692 \cdot 10^{-5}$ |
| 3 | 0,003 | 0.77 | $3.646 \cdot 10^{-3}$ | 0.219 | $7.141 \cdot 10^{-3}$ | $1.489 \cdot 10^{-4}$ |
| … | … | … | … | … | … | … |
| 999 | 0,999 | 0.026 | 0.898 | 0.022 | 0.025 | 0.028 |
| 1000 | 1,000 | 0.026 | 0.898 | 0.022 | 0.025 | 0.028 |

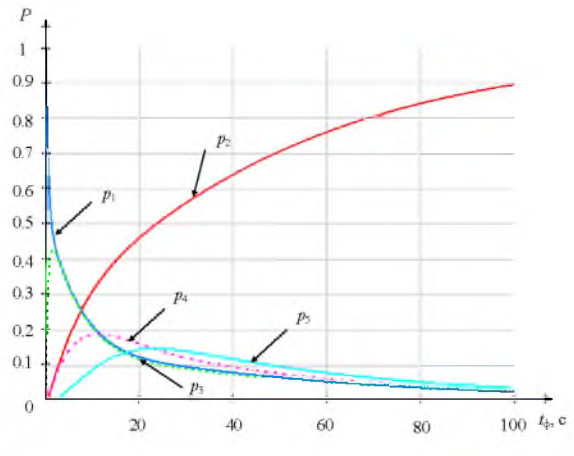



Рисунок 6.15 – Результаты расчета функции вероятности состояний для значений интенсивностей событий, соответствующих стратегии С9

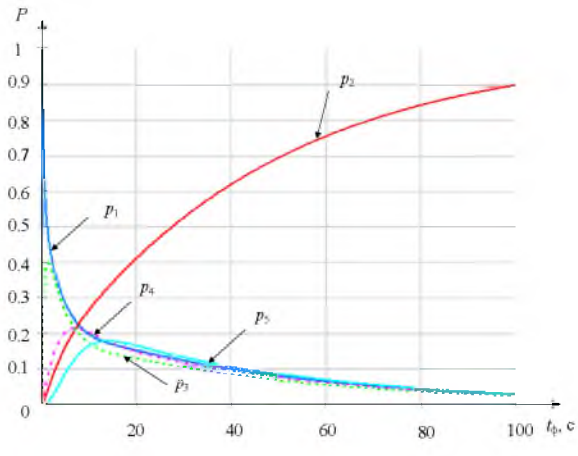



Рисунок 6.16 – Результаты расчета функции вероятности состояний для значений интенсивностей событий, соответствующих стратегии С10

Приближенные значения $p_i$ на интервале $t \in [t_0; t_1]$ с фиксированным шагом интегрирования $10^{-3}$ для значений интенсивностей потоков событий, соответствующих стратегии С11 (применение механизма моделирования состояний и синтеза ИУС и ее элементов с малой интенсивностью, см. табл. 6.3) представлены в табл. 6.16, сплайн-интерполяция значений представлена на графиках зависимостей вероятностей состояний от времени (рис. 6.17). Время нарушения устойчивого функционирования системы с вероятностью $P_{\text{наруш функц}}$ = 70% составляет 521 ед. модельного времени.

Таблица 6.16 – Приближенные значения $p_i(t)$ для стратегии С11

| Этапы интегрирования, $n$ | Точка интервала интегрирования, $[t_0, t_1]$ | $p(t)$ | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | $p_1(t)$ | $p_2(t)$ | $p_3(t)$ | $p_4(t)$ | $p_5(t)$ |
| 1 | 0,001 | 0.909 | $4.637 \cdot 10^{-4}$ | 0.089 | $1.377 \cdot 10^{-4}$ | $1.391 \cdot 10^{-5}$ |
| 2 | 0,002 | 0.833 | $1.723 \cdot 10^{-3}$ | 0.16 | $5.065 \cdot 10^{-3}$ | $1.04 \cdot 10^{-4}$ |
| 3 | 0,003 | 0.77 | $3.611 \cdot 10^{-3}$ | 0.215 | 0.01 | $3.276 \cdot 10^{-4}$ |
| … | … | … | … | … | … | … |
| 999 | 0,999 | 0.029 | 0.896 | 0.023 | 0.025 | 0.027 |
| 1000 | 1,000 | 0.029 | 0.896 | 0.023 | 0.025 | 0.027 |

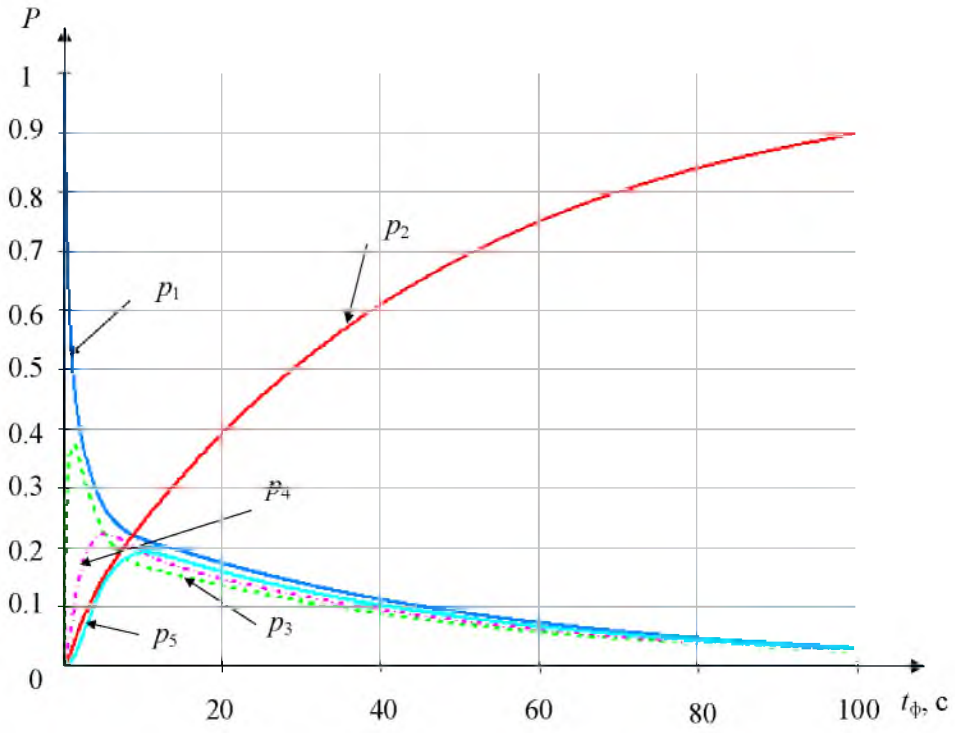



Рисунок 6.17 – Результаты расчета функции вероятности состояний для значений интенсивностей событий, соответствующих стратегии С11

Таким образом, дальнейшее увеличение интенсивности потока событий на синтез при сохраняющейся интенсивности потока событий воздействия ДФ и возникновения конфликтов закономерно приводит к снижению вероятности нарушения функционирования ИУС. Изменение интенсивностей заявок соответствует изменению стратегий взаимодействующих сторон и, как следствие, изменению вероятности нарушения функционирования системы (табл. 6.17). Гистограмма зависимости представлена на рис. 6.18.

Разработанная модель процесса функционирования ИУС в условиях воздействия различных ДФ, обуславливающих возникновение конфликтов в системе учитывает влияние

и интенсивность возникновения конфликтов в ней. Процесс обеспечения функциональной устойчивости системы сводится к поиску стратегии по синтезу ИУС и ее элементов в зависимости от интенсивности воздействия ДФ, приводящему к увеличению времени функционирования системы с заданной допустимой вероятностью ФУ.

Таблица 6.17 – Сводная таблица показателей функциональной устойчивости ИУС

| № стратегии | Интенсивность воздействия ДФ и возникновения конфликтов | Интенсивность возникновения конфликтов в ИУС | Интенсивность синтеза ИУС | Вероятность нарушения функционирования $P_{\text{наруш функ}}$ ($t_ф$ = 80 с) | Среднее время устойчивого функционирования ИУС $P_{\text{наруш функ}} > 70$ % |
|---|---|---|---|---|---|
| С1 | 1 | 0 | 0 | 0 | > 1000 |
| С2 | 10 | 1 | 0 | 0.319 | > 1000 |
| С3 | 10 | 1 | 5 | 0.182 | > 1000 |
| С4 | 50 | 5 | 0 | 0.868 | 480 |
| С5 | 50 | 5 | 10 | 0.619 | > 1000 |
| С6 | 50 | 10 | 10 | 0.835 | 503 |
| С7 | 100 | 1 | 0 | 0.329 | > 1000 |
| С8 | 100 | 10 | 0 | 0.983 | 240 |
| С9 | 100 | 10 | 10 | 0.842 | 492 |
| С10 | 100 | 10 | 20 | 0.84 | 509 |
| С11 | 100 | 10 | 30 | 0.838 | 521 |

Рисунок 6.18 – Гистограмма зависимости вероятности нарушения устойчивого функционирования ИУС от стратегии ее функционирования

Как видно из таблицы 6.17 и рисунка 6.18 с увеличением интенсивности возникновения конфликтов в системе вероятность нарушения устойчивого функционирования падает. При этом при равных условиях, низкая интенсивность перехода в неработоспособное состояние ИУС, позволяет обеспечить более длительное нахождение системы в функционально устойчивом состоянии.

С увеличением интенсивности возникновения перехода в режим моделирования и синтеза системы с последующим переходом в режим устойчивого функционирования вероятность нарушения устойчивого функционирования падает, а время устойчивого функционирования ИУС увеличивается. При этом при равных условиях, низкая интенсивность перехода в неработоспособное состояние ИУС, позволяет обеспечить более длительное нахождение системы в функционально устойчивом состоянии.

Модель функционирования ИУС, как составная часть методики обеспечения функциональной устойчивости ИУС за счет выявления конфликтов в ней и выполнения синтеза, позволяет вскрыть зависимости процесса функционирования системы при использовании механизма синтеза ИУС и ее элементов, а также оценивать эффективность системы контроля процесса функционирования системы и обоснованно выбирать алгоритмы обеспечения функциональной устойчивости.

## 6.5. Выводы по Главе 6

1. Сложность технических систем накладывает определенные ограничения на использование методов имитационного моделирования при оценке ее устойчивости, поэтому отдается приоритет аналитическим методам, позволяющим количественно оценивать состояние устойчивости ИУС. Однако усложнение систем, появление новых элементов в них, выполнение новых функций и задач приводит к тому, что многие системы становятся критичными, а для таких систем оценка вероятностными методами не подходит. Кроме этого, они обладают рядом недостатков: они сложны и не доведены до реализации в программах, алгоритмах, машинных кодах; позволяют анализировать системы с ограниченным малым набором состояний, функций; сложность формализации системы и разработки универсальной математической модели; сложности в формализации систем с изменяющейся структурой.

Таким образом, сложность систем, множество процессов в них определяют существование потребности разработки новых подходов к формализации ИУС и оценки их функциональной устойчивости.

Неразрывная связь системы контроля и системы управления на всех этапах жизненного цикла технических систем. Требуется внедрение алгоритмов прогнозирования изменения состояния системы и ее элементов, событий в ней.

Требуется повышение контролепригодности систем, взаимодействие систем контроля с другими системам, которые могут оказывать влияние на ИУС. Унификация систем контроля.

Усложнение системы, появление новых элементов, задач, функций требует контроля самой системы ИУС, в первую очередь, системы и каналов связи, обеспечивающих обмен информацией о состояний системы и доставку управляющих воздействий.

Требуется автоматизация процессов контроля, мониторинга и технической диагностики, в том числе, с использованием новых технологий, искусственного интеллекта, квантовых технологий, что будет приводить к расширению возможностей контроля ИУС, появлению новых функций в системе контроля, увеличению скорости обработки информации.

Увеличение количества одновременно контролируемых параметров, без снижения эффективности функционирования системы контроля. Использование приборов с большей точностью.

Повсеместное внедрение функций самоконтроля и автоматического восстановления нарушенных функций ИУС, системы контроля, разработка программного и алгоритмического обеспечения процессов контроля.

В современных ИУС при проведении контроля, мониторинга состояния системы требуется переход от планово-предупредительной стратегия в обслуживании и ремонте к обслуживанию системы по техническому состоянию.

Основной особенностью современной системы контроля, мониторинга является, то что основным продуктом, получаемым в процессе ее работы и представляющим наибольшую ценность является информация о состоянии ИУС, достоверность, которой требует объективной оценки.

2. Предложенная модель контроля процесса функционирования ИУС, описывает процесс контроля выполнения целей, требований, функций и задач системы путем сравнения профиля процесса функционирования ИУС и профиля функционирования ИУС, регламента процесса функционирования системы и регламента функционирования системы. При отличии профилей (регламентов) в ИУС возникает конфликт, своевременное решение которого позволяет обеспечить устойчивое функционирования системы. Кроме этого, определенной новизной обладают предложения автора по контролю не только выполнения профиля, но и предварительной оценке возможностей ИУС по выполнению

задач системы.

3. Полученная в работе модель процесса контроля функционирования ИУС, описанная в теории случайных Марковских процессов с дискретным состояниями и непрерывным временем, обладает теоритической и практической новизной и позволяет получать вероятностно-временные характеристики, характеризующих процесс контроля функционирования ИУС при изменяющихся потоках событий, описывающих состояния графа (процесса контроля). Усложнение системы, возрастание нагрузки на нее приводит к необходимости кратковременного роста интенсивности контроля системы с последующей нормализацией вероятностной характеристики, перехода системы в устойчивое состояние. Количество конфликтов и критических элементов уравновешивается действиями ИУС по устранению таких явлений.

4. Количество ДФ, влияющих на функционирование как отдельных элементов ИУС, так и всей системы с каждым годом растет. Это связано, в первую очередь, с появлением новых средств воздействия у злоумышленников, совершенствованием их тактико-технических характеристик. Успешность реализации таких воздействий зависит от многих факторов, например, характера воздействия, средств и квалификации злоумышленника, используемой в ИУС системы защиты и контроля и т.д. В результате таких воздействий может нарушаться устойчивость функционирования ИУС, что недопустимо системы.

С целью уменьшения вероятности нарушения ФУ ИУС разработана методика обеспечения функциональной устойчивости ИУС в условиях воздействия ДФ, основанная на выявлении конфликтов в ИУС, обусловленных несоответствием профиля процесса функционирования ИУС профилю функционирования ИУС (плану).

Практическая значимость методики заключается в том, что она позволяет выявлять зависимость времени устойчивого функционирования ИУС с заданной вероятностью от интенсивности синтеза системы и ее элементов, а также интенсивности воздействия ДФ и появления конфликтов в ней, иными словами определять время устойчивого функционирования системы.

Полученные результаты являются основой и определяют наиболее перспективные направления для разработки подходов по обеспечению ФУ ИУС в условиях воздействия ДФ различной природы, приводящих к нарушению ее устойчивого функционирования, в ходе модернизации системы, при планировании ее построения и наращивания.

# ГЛАВА 7. ТЕХНОЛОГИИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ИУС АН НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРОФИЛЯ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ И ЕГО ПРЕДИКТИВНОГО КОНТРОЛЯ

## 7.1. Подход к устранению (уходу от) конфликтов, возникающих в процессе функционирования информационно-управляющей системы на основе профиля функционирования

Неотъемлемым элементом любой сложной технической системы является система управления, в состав которой входит система связи, они позволяют осуществлять управление СТС обеспечивая доставку команд от управляющего объекта к управляемому. В процессе функционирования СТС и ее элементы подвергаются воздействию различных внутренних и внешних ДФ, которое носит случайный характер [321, 364, 396, 397]. В процессе функционирования системы происходит изменения состояния объектов системы и их местоположения в пространстве, появляются и пропадают структурные и функциональные связи. Возможно состояние, когда элементы системы работоспособны, но не выполняют свои функции или система не способна реализовать никакие функции. Для того чтобы обеспечивать устойчивое функционирование системы, а также восстановление утраченных функций, необходимо управлять ее ресурсами.

Функции системы состоят из простейших задач, выполнение которых возможно при достаточном уровне обеспечения их соответствующими ресурсами. При этом для сложной организационно-технической системы, ресурсами выступают *время*, необходимое для выполнения задач, память, пропускная способность, *материальные ресурсы* – в основном техника, поддерживающая процесс управления через обмен различными сообщениями между людьми. Еще одним основным ресурсом, обеспечивающим функционирование систем, являются *люди*.

Можно ли рассматривать специалиста как ресурс? Ответ на данный вопрос содержится в Концепции управления человеческими ресурсами (КУЧР) [172, 398]: человек является ресурсом, обеспечивающим функционирование системы, в которую он входит. Данная концепция имеет долгую историю – об этом говорили еще в Древней Греции [399]. Эволюцией КУЧР в современном мире стала концепция менеджмента, или управления

человеческими ресурсами, направленная на повышение качества и эффективности функционирования организаций.

Основной идеей КУЧР является определение отношения организации к человеку, как к ресурсу, личности, капиталу [172]. При этом выявляется общая ценность каждого индивида для организации в целом, сопровождаемая экономическим обоснованием способов управления, учитываются его профессиональный уровень подготовки, личностные качества, мотивация к деятельности, общая культура, коммуникабельность, образование, вовлеченность в деятельность организации и взаимодействие в коллективе. КУЧР служит лишь инструментом, позволяющим повысить эффективность управления организацией и ее персоналом. Основоположник инструментализма Д. Дьюи подчеркивал, что значение и ценность любых инструментов заключается не в них самих, а в их способности и работе, которые проявляются в действии [169, 398]. Деятельность каждой организации индивидуальна, и отсутствие результата применения концепции должно привести к отказу от ее использования или к ее совершенствованию и адаптации под нужды конкретной организации для достижения целей обеспечения функционирования системы, повышения ее эффективности и качества управления.

Ключевым моментом процесса управления является принятие решения на какое-либо управляющее воздействие. Автоматизация лишь облегчает этот процесс за счет использования большого количества вспомогательных данных, предоставляемых системой поддержки принятия решения. Однако при отсутствии автоматизации процесс принятия решения наглядно характеризует принцип меритократии. Суть его в сборе умных, независимо мыслящих людей в одном месте и предоставлении им права открыто высказывать разные точки зрения по определенному вопросу. Результатом должно стать формирование наилучшего коллективного решения, основанного на компетенциях участников обсуждения, и преодоление возникающих в ходе дискуссии разногласий [398-400]. При этом участники должны обладать определенными качествами, честно и открыто высказываться по теме обсуждения.

Автоматизация управления или коллективное решение направлены на повышения качества и быстроты принятия решения лицами, имеющими на это право. Если рассматривать процесс автоматизированного управления, то в нем всегда участвует человек, принимающий решение, исходя из предоставленной ему информации, собственного опыта, интуиции, компетентности и других качеств. Характер такого решения будет зависеть, в том числе, от окружения руководителя, а также от эффективного и устойчивого функционирования систем обеспечения управления, системы связи и автоматизированных систем управления [65, 319]. Данные системы позволяют

своевременно получать достоверную информацию о состоянии управляемых объектов.

Функционирование системы осуществляется в условиях воздействия различных ДФ. При этом, воздействие может быть произведено на любой элемент системы, который в результате может прекратить выполнять свои функции, что будет повлечь за собой невыполнение системой своих функций и целевого предназначения.

Анализ функционирования системы через процесс обусловлен увеличением размерности современных систем и сложности связей между их элементами, необходимостью контроля большого количества параметров, характеризующих элементы системы и ее саму. При этом устойчивое функционирование отдельных элементов системы не гарантирует, что вся система будет функционировать также стабильно. Основным средством обеспечения выполнения функций системой являются ее ресурсы – правильное управление, на основании достоверной информации о состоянии системы, выполнении ее функций и задач, а также обеспеченности их необходимым ресурсом, может гарантировать ее функциональную устойчивость.

Функционирование ИУС можно представить в виде следующих отображений:

$$S1: F \rightarrow A;$$

$$S2: Z \rightarrow F;$$

$$S3: E \rightarrow Z,$$

где $S1$, $S2$ и $S3$ характеризуют уровень выполнения целей, функций, задач соответственно.

Выполнение каждой цели, требования, функции, задачи реализуется объектами, расположенными в пространстве и имеющими определенные характеристики, которые с течением времени могут меняться. Рассмотрим множество объектов системы – $V = \{v_r\}$ и множество критически важных объектов – $V^* = \{v_r^*\}$ (символ * характеризует критически важные объекты, процессы, задачи, функции), при этом $\forall V^* \in V\left(v_r \in V, v_r^* \in V^*, v_r^* \in V\right)$, $L = \|V\|$. Каждый объект характеризуется пространственно-временными характеристиками и может рассматриваться как ресурс системы. Ресурс является основным элементом, позволяющим системе выполнять свои функции.

Поскольку в процессе функционирования ИУС объекты выполняют определенные функции и задачи, обеспечивающие выполнение целевого предназначения, можно рассмотреть следующее отображение, характеризующее функционирование системы:

$$S1: V \times F \rightarrow A;$$

$$S2: V \times Z \rightarrow F;$$

$$S3: V \times E \rightarrow Z.$$

В условиях обеспечения ФУ системы осуществляется постоянное управляющее

воздействие на ее элементы, представляющее собой множество управляющих воздействий $U = \{U_1, U_2, \ldots, U_u\}$. Тогда отображение

$$S1: U \text{ x } V \text{ x } F \rightarrow A;$$

$$S2: U \text{ x } V \text{ x } Z \rightarrow F;$$

$$S3: U \text{ x } V \text{ x } E \rightarrow Z.$$

характеризует выполнение системой целевой функции с учетом ЛПР соответствующих управляющих воздействий.

Совокупность отображений, характеризующих функционирование сложной системы, можно представить так:

$$S1: U \text{ x } V^* \text{ x } F^* \rightarrow A;$$

$$S2: U \text{ x } V^* \text{ x } Z^* \rightarrow F^*;$$

$$S3: U \text{ x } V^* \text{ x } E \rightarrow Z^*,$$

где символ * характеризует критически важные объекты, процессы, задачи, функции.

Сложная функционально-динамическая и организационно-техническая система в условиях воздействия различных ДФ является функционально устойчивой, если на интервале времени $\Delta t$ существует по крайней мере одно ее состояние, позволяющее за счет синтеза системы и управления ресурсом выполнить возложенные на нее задачи и функции, в первую очередь критические, и обеспечить реализацию целевого предназначения системы с качеством не ниже $K_{\min}$:

$$\forall\left(D_{\Delta t} \in D,\ V_{\Delta t} \in V,\ F_{\Delta t} \in F\right) \exists k^*\left(E_{\Delta t} \in E\right) K,\ \left\langle k^*, V_{\Delta t}, F_{\Delta t} \right\rangle - K_{k^*} \geq K_{\min},$$

где $D_{\Delta t}$ – множество ДФ из множества $D$ (множество ДФ, которые могут воздействовать на систему), нарушающих функционирование системы (создающих предпосылки к этому) и действующих на интервале времени $\Delta t$; $V_{\Delta t}$ – множество объектов системы, характеризуемых пространственно-временными характеристиками, обеспечивающих выполнение множества функций $F_{\Delta t}$ на интервале времени $\Delta t$; $F_{\Delta t}$ – множество функций, выполняемых системой и ее элементами на интервале времени $\Delta t$; $E_{\Delta t}$ – множество ресурсов, необходимых для обеспечения выполнения задач и функций системы на интервале времени $\Delta t$; $K = \{k_Z\}$, $k_Z = \langle E_1, E_2, \ldots, E_Z \rangle$ – множество распределений ресурсов по задачам, обеспечивающим выполнение функций на интервале времени $\Delta t$; $K_{k^*}$ – вектор уровня реализации наборов задач и функций, выполнение которых обеспечивается распределением ресурса $k^*$ на интервале времени $\Delta t$ в условиях воздействия ДФ; $K_{\min}$ – минимальный уровень качества реализации наборов задач и функций, выполнение которых обеспечивается распределением ресурса $k^*$ на интервале времени $\Delta t$ в условиях воздействия ДФ, при котором система выполняет целевое предназначение.

Каждый вектор $K_{k^*}$ является набором величин, характеризующих качество

выполнения задач и функций в соответствии с целевой функцией, и представляет собой множество $K_{k*} = \{q_{11},q_{12},\ldots,q_{1j},\ldots,q_{ij}\}$, где индекс $i$ – количество выполняемых задач $j$ функции.

Каждый элемент вектора $K_{k*}$ можно представить как множество величин, характеризующих уровень качества выполнения $j$ функции $N_j = \{q_1,q_2,\ldots,q_i\}$. Множество уровней качества функционирования системы можно записать как множество множеств $N = \{N_1,N_2,\ldots,N_j\}$, не пересекающихся с элементами $q_i$, при этом каждый элемент $q_i$ множества $N_j$ может быть упорядочен по правилу $q_1 \le q_2 \le \ldots \le q_i$. Множество $N$ является частично упорядоченным и может быть записано в виде квазиматрицы $j$-го порядка со строками, характеризующими значения множества $N_j$ [401-403]:

$$N = \left\| \begin{matrix} q_1 & \cdots & q_i \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ q_j & \cdots & q_{ij} \end{matrix} \right\| = \left\| q_{ij} \right\|. \qquad (7.1)$$

При воздействии различных ДФ, длительном сроке эксплуатации, нарушениях при эксплуатации показатель качества выполнения задач и функций может снижаться, а величина $q_{ij}$ смещается влево по матрице (7.1), что приводит к снижению функциональной устойчивости системы.

Принципиальным отличием функциональной устойчивости от надежности и живучести и подходов к ее оценке является необходимость контроля системы в режиме, близком к реальному времени, через анализ выполнения системой и ее элементами задач и функций. Методы обеспечения функциональной устойчивости направлены на декомпозицию системы до ресурсов, обеспечивающих выполнение объектами системы задач и функций, а также управление ими (ресурсами) в условиях поддержания вектора качества выполнения функций и задач системы в требуемом интервале времени. Система осуществляет процесс управления ресурсами и их распределением, при этом требования планов, характеризующих функционирование системы, остаются неизменными. При невозможности обеспечения требуемого количества и качества выполняемых функций, при возникновении конфликтной ситуации (критичности объектов, процессов, задач, функций) для ухода от конфликта осуществляется синтез системы с учетом выполнения регламентов, имеющий целью перераспределение ресурсов и последовательности выполнения задач и функций с учетом прогнозирования состояния системы и ее элементов и выполнения ими своих задач и функций, обеспеченности их ресурсом.

## 7.2. Формирование сценариев действий лиц, принимающих решение, для обеспечения функциональной устойчивости ИУС АН

С каждым годом количество различных угроз, возможностей воздействия на сложные технические системы возрастает. Наряду с этим, возможности таких систем только возрастают, это связанно с развитием технологий, построением многофункциональных системы, уменьшением роли человека в них, которому, как правило, отводится функция принятия решения на то или иное действие [320, 343]. Возрастание возможностей систем и их элементов, увеличение количества функций и задач, которые они могут выполнять, а также потребности общества и государства, или отдельной организации в функционировании такой системы определяют ее значимость, а иногда критичность для общества, государства, организаций [66, 91, 257]. Взаимодействие сложных технических систем с внешней средой, часто может стать причиной возникновения различных конфликтов, обусловленных противоречием необходимости устойчивого и непрерывного функционирования системы и потребностями, воздействиями на нее различных дестабилизирующих факторов, имеющих целью нарушение функционирования системы [404-406].

Определим условия, для которых ИУС присуще свойства функциональной устойчивости и непрерывности функционирования, т.е. рассмотрим состояние системы, при котором она устойчиво и непрерывно функционирует. Под состоянием системы будем понимать совокупность характеристик системы, отражающих процесс ее функционирования.

Рассмотрим следующие функциональные состояния системы, по которым можно установить ее способность выполнять требуемый перечень задач, функций и целей (целевого предназначения) системы. Совокупность таких состояний образуют множество состояний системы $S_1 = \{s_1, s_2, \ldots, s_i\}$, где $I$ – количество состояний системы. Каждое состояние ИУС $s_i$ характеризуется двумя составляющими структурной $s_c$ и функциональной $s_ф$, $s_i = \{s_c, s_ф\}$. Множеством функциональных характеристик элементов системы $s_ф = \{s_1, s_2, \ldots, s_ф\}$, где Ф – количество функциональных характеристик системы (задач, функций, целей системы), позволяющих за счет разнесенных в пространстве и времени ресурсов (элементов) системы, характеризующих ее структуру, $s_c = \{s_1, s_2, \ldots, s_c\}$, где С – количество совокупностей (набор) элементов системы, позволяющих выполнить каждую требуемую ее задачу, функцию, цель.

Любому состоянию из $S_1$ системы соответствует совокупность требований, предъявляемых к ней (совокупности элементов системы) и характеризующих ее

способность выполнить заданные задачу, функцию, цель [65, 300-302, 320]. В качестве показателей, характеризующих выполнение системой задач, функций и целей можно рассматривать время выполнения, порядок выполнения, количество выполненных задач, функций, целей в состоянии $s_i$, количество выполненных операций и т.д. Совокупность состояний, характеризующих качество выполнения состояний $S_1$, образуют множество $S_2 = \{w_i\}$. Любое состояние определяется множеством показателей требований к функционированию системы и ее элементов $T^{(i)} = \left\{T_1^{(i)}, T_2^{(i)}, ...T_L^{(i)}\right\}$, где $L$ – количество показателей требований.

В зависимости от значений показателей требований к ИУС, она может находиться в состоянии гарантированного выполнения, требуемого количества задач, функций, целей или в состоянии нарушения их выполнения.

Функционально устойчивое состояние ИУС называется такое состояние системы $S_{\text{фу}}$, в котором система способна гарантированно выполнить требуемый набор $s_i$, характеризующий выполнение задач, функций и целей системы с требуемым качеством и в установленные сроки, тогда такое состояние будет иметь следующий вид

$$W_{фу} = \left\{s_i, w_i \middle| \forall i, \forall j : T_1^{(i)} \in T_1^{(\text{треб})}, T_2^{(i)} \in T_2^{(\text{треб})}, ..., T_L^{(i)} \in T_L^{(\text{треб})} \middle| t = t_{\text{ф}}\right\}$$

Любое состояние системы $s_i$ является устойчивым, тогда, когда при воздействии на систему в данном состоянии любых ДФ состояние $w_i$ остается неизменным, что можно записать, как:

$$s_{i\text{фу}} = \left\{\forall i \middle| s_i \times d_i \to w_i \middle| t = t_{\text{ф}}, w_i \in S_{\text{фу}}\right\}$$

где $d_i$ – элемент множества дестабилизирующих воздействий $D = \{d_1, d_2, d_3, \ldots, d_i\}$ на ИУС.

Обобщая вышеизложенный материал, с учетом множества функциональной устойчивых состояний системы, определяющих непрерывность ее функционирования, система будет функционально устойчива и непрерывно функционировать, тогда и только тогда, когда при воздействии на нее различных ДФ она остается в этом состоянии или переходит в другое, при этом выполняются следующие условия:

первоначальное состояние системы функционально устойчиво;

для любого состояния системы, достижимого из первоначального состояния при выполнении конечного числа переходов из одного состояния в другое, она оказывается в таком состоянии, которое функционально устойчиво.

Запишем это математически:

$$S_{\text{фу}} = \begin{cases} s_1 \,|\, s_i \in S_1, w_1 \in S_2, w_1 \cong w_{\text{фу}}, \\ s_i \times d_i \to s_i \,|\, s_i \in S_1, d_i \in D, w_i \in S_2, w_i \cong w_{\text{фу}}, \\ s_i \times d_i \to s_{(i+1)} \,|\, s_i, s_{(i+1)} \in S_1, d_i \in D, w_{(i+1)} \in S_2, w_{(i+1)} \cong w_{\text{фу}}. \end{cases} \quad (7.2)$$

Для обеспечения гарантированного выполнения системой возложенных на нее задач, функций и целей в любых условиях обстановки, т.е. обеспечения функциональной устойчивости и непрерывности функционирования системы необходимо функционирование системы в области множества функционально устойчивых состояний (рис. 7.1):

$$\Delta : S \times D \to W_{фу}.$$

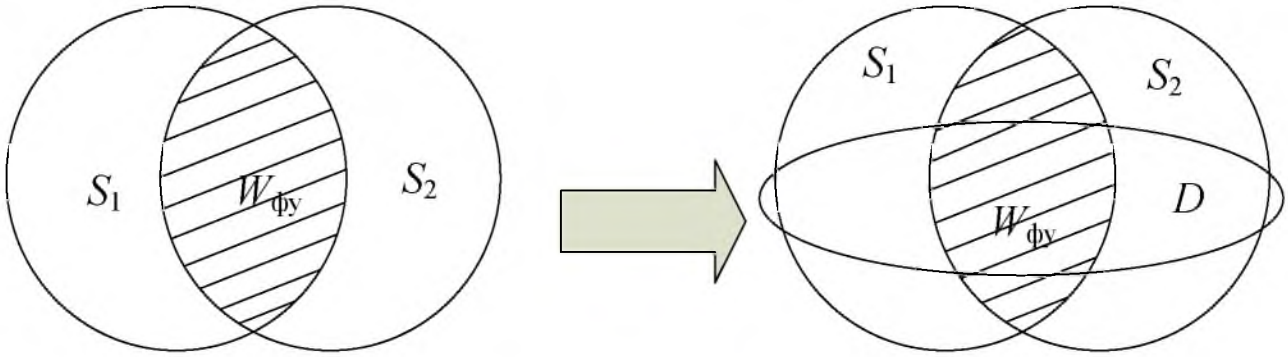



Рисунок 7.1 – Множество функционально устойчивых состояний системы

Технологической основой обеспечения ФУ и непрерывности функционирования систем является создание информационно-управляющих комплексов и систем поддержки принятия решений, позволяющих сосредотачивать информацию о состоянии системы, происходящих в ней процессах и обеспеченности их ресурсами.

Процесс обеспечения устойчивого функционирования ИУС и работы системы поддержки принятия решений включает выработку сценариев действий по устранению влияния ДФ, направленных на переход системы из текущего состояния, когда не выполняются требования в функционально устойчивое состояние.

Формирование сценариев действий представляет собой множество управляющих воздействий системы управления ИУС и ее органов управления, которые можно представить, как

$$V = \{V_{11}, V_{21}, \ldots, V_{N1}, V_{12}, V_{22}, \ldots, V_{Ni}\},$$

где $V_{Ni}$ – управляющее воздействие для $i$ – го состояния системы, $N$ – количество управляющих воздействий, позволяющих перевести систему в функционально-устойчивое состояние.

Реализация управляющих воздействий над пространственно-разнесенными элементами ИУС в любой момент времени будет определять ее функциональную устойчивость и описываться законом сохранения целостности системы [59, 91, 407, 408]:

$$\iint_{Q} P(S_1(t,E),V_{Ni}(t,E),E)dtdE = I(Q),$$

где $P()$ – функция, характеризующая изменение состояний системы, $E$ – множество ресурсов системы, $I(Q)$ – функция, характеризующая выполнение целевого предназначения системы в соответствии с планом $Q$.

Всю совокупность управляющих воздействий на систему можно разделить на два класса:

направленные на изменение функциональной характеристики системы, т.е. на изменение последовательности, времени, алгоритмов и т.д. выполнения задач, функций, целей системы;

направленные на изменение структуры самой ИУС, т.е. добавление новых ресурсов, средств, организацию новых связей в системе.

При использовании сценариев, направленных на изменение структуры системы и ее элементов, как правило, используются традиционные методы резервирования. При резервировании в процессе изменения структуры системы, функциональная составляющая не меняется, если производится замена одного элемента системы на такой же другой, что требуется при выходе его из строя из-за воздействия ДФ, либо она изменяется, что обусловлено заменой на другой элемент, который позволяет выполнить нарушенные задачи, но при этом позволяет выполнять и другие задачи, функции и цели системы.

Формирование сценариев, направленных на изменение функциональной характеристики системы, без изменения ее структуры, заключается в определении вариантов перераспределения функций, задач и целей нарушенного состояния системы между элементами системы, использующимися для реализации других устойчивых состояний, а также формирования действий резервирования ресурсов системы за счет других ее элементов.

При формировании сценариев действий для каждого состояния ИУС необходимы большие вычислительные мощности, что не всегда приемлемо, кроме этого, множество вариантов сценариев тяжело для восприятия ЛПР, поэтому необходимо формировать ограниченное количество сценариев действий для каждого состояния системы. В процессе формирования сценариев на основе результатов мониторинга и контроля процесса функционирования системы [65, 320, 381, 382, 409, 410] определяется перечень ее состояний, имеющих наиболее важное значение для нее, а также состояний системы,

наиболее подверженных воздействию ДФ – $s_j$, $s_j \in S_1$. Для таких состояний формируются сценарии действий для обеспечения их устойчивого функционирования в первую очередь.

В процессе формирования сценариев действий необходимо определение функций, задач и целей которые можно не выполнять или выполнять, но со снижением требуемого качества, в условиях невозможности использования дополнительных ресурсов или изменения функциональной характеристики, таким образом, чтобы это не сказалось на общем устойчивом функционировании системы.

Увеличение размерности системы, ее возможностей по выполнению задач, функций, целей, появление новых связей между элементами системы с одной стороны положительно сказывается на функционировании системы, в интересах которой функционирует ИУС, с другой стороны приводит к увеличению множества состояний системы, а также увеличению сбоев в системе.

Опишем формируемые сценарии обеспечения функциональной устойчивости системы. Пусть система находится в состоянии $s_i$, в которое она перешла из состояния $s_{(i-1)}$, тогда множество совокупностей элементов системы, позволяющих обеспечить устойчивость ее функционирования при таком переходе, т.е. способность выполнить требуемый перечень задач, функций, целей, будет $M^{фу}_{s_{(i-1)} \to s_i}$, а множество $M_{s_{(i-1)} \to s_i}$ - множество совокупностей элементов системы не обеспечивающих функциональную устойчивость при таком переходе. Рассмотрим профиль функционирования ИУС, включающий множество $A = \{A_1, A_2, \ldots, A_a\}$ – целевая функция (множества целей), $F = \{F_1, F_2, \ldots, F_c\}$ – множество функций системы, $Z = \{Z_1, Z_2, \ldots, Z_q\}$ – множество задач системы связи, $E = \{E_1, E_2, \ldots, E_m\}$ — множество ресурсов системы, обеспечивающих ее функционирование, $Z^{фу}_{s_{(i-1)} \to s_i}$ - множество задач, которые связаны с $M^{фу}_{s_{(i-1)} \to s_i}$ и выполняются при переходе из состояния $s_{(i-1)}$ в $s_i$, $Z_{s_{(i-1)} \to s_i}$ - множество задач, которые связаны с $M_{s_{(i-1)} \to s_i}$ и не выполняются (выполняются с нарушением требований к ним) при переходе из состояния $s_{(i-1)}$ в $s_i$, $F^{фу}_{s_{(i-1)} \to s_i}$ - множество функций, которые связаны с $M^{фу}_{s_{(i-1)} \to s_i}$ и выполняются при переходе из состояния $s_{(i-1)}$ в $s_i$, $F_{s_{(i-1)} \to s_i}$ - множество функций, которые связаны с $M_{s_{(i-1)} \to s_i}$ и не выполняются (выполняются с нарушением требований к ним) при переходе из состояния $s_{(i-1)}$ в $s_i$, $A^{фу}_{s_{(i-1)} \to s_i}$ - множество целей, которые связаны с $M^{фу}_{s_{(i-1)} \to s_i}$ и выполняются при переходе из состояния $s_{(i-1)}$ в $s_i$, $A_{s_{(i-1)} \to s_i}$ - множество целей, которые связаны с $M_{s_{(i-1)} \to s_i}$ и не выполняются (выполняются с нарушением требований к ним) при переходе из состояния $s_{(i-1)}$ в $s_i$.

При переходе из состояния $s_{(i-1)}$ в $s_i$ в рамках обеспечения функциональной устойчивости можно рассмотреть следующие функциональные характеристики текущего состояния системы, характеризующие сценарии действий:

все задачи (функции, цели) множества $Z^{фу}_{s_{(i-1)}\to s_i}$, $(Z_{s_{(i-1)}\to s_i})$ $(F^{фу}_{s_{(i-1)}\to s_i}(F_{s_{(i-1)}\to s_i})$, $A^{фу}_{s_{(i-1)}\to s_i}(A_{s_{(i-1)}\to s_i})$) сохраняются в системе без изменений;

все задачи (функции, цели) множества $Z^{фу}_{s_{(i-1)}\to s_i}$, $(Z_{s_{(i-1)}\to s_i})$ $(F^{фу}_{s_{(i-1)}\to s_i}(F_{s_{(i-1)}\to s_i})$, $A^{фу}_{s_{(i-1)}\to s_i}(A_{s_{(i-1)}\to s_i})$) сохраняются в системе, но меняется алгоритм их выполнения;

все задачи (функции, цели) множества $Z^{фу}_{s_{(i-1)}\to s_i}$, $(Z_{s_{(i-1)}\to s_i})$ $(F^{фу}_{s_{(i-1)}\to s_i}(F_{s_{(i-1)}\to s_i})$, $A^{фу}_{s_{(i-1)}\to s_i}(A_{s_{(i-1)}\to s_i})$) сохраняются в системе, но меняется последовательность их выполнения;

все задачи (функции, цели) множества $Z^{фу}_{s_{(i-1)}\to s_i}$, $(Z_{s_{(i-1)}\to s_i})$ $(F^{фу}_{s_{(i-1)}\to s_i}(F_{s_{(i-1)}\to s_i})$, $A^{фу}_{s_{(i-1)}\to s_i}(A_{s_{(i-1)}\to s_i})$) сохраняются в системе, но меняется сроки их выполнения;

все задачи (функции, цели) множества $Z^{фу}_{s_{(i-1)}\to s_i}$, $(Z_{s_{(i-1)}\to s_i})$ $(F^{фу}_{s_{(i-1)}\to s_i}(F_{s_{(i-1)}\to s_i})$, $A^{фу}_{s_{(i-1)}\to s_i}(A_{s_{(i-1)}\to s_i})$) отбрасываются;

часть задачи (функции, цели) множества $Z^{фу}_{s_{(i-1)}\to s_i}$, $(Z_{s_{(i-1)}\to s_i})$ $(F^{фу}_{s_{(i-1)}\to s_i}(F_{s_{(i-1)}\to s_i})$, $A^{фу}_{s_{(i-1)}\to s_i}(A_{s_{(i-1)}\to s_i})$) отбрасывается, остальная часть сохраняется без изменений;

часть задачи (функции, цели) множества $Z^{фу}_{s_{(i-1)}\to s_i}$, $(Z_{s_{(i-1)}\to s_i})$ $(F^{фу}_{s_{(i-1)}\to s_i}(F_{s_{(i-1)}\to s_i})$, $A^{фу}_{s_{(i-1)}\to s_i}(A_{s_{(i-1)}\to s_i})$) отбрасывается, остальная часть сохраняется, при этом изменяется алгоритм выполнения, порядок и (или) сроки их выполнения.

Формирование множества $Y$ всех возможных сценарии действий для всех возможных состояний системы и переходов из одного в другое определяется всеми возможными комбинациями множеств $Z^{фу}_{s_{(i-1)}\to s_i}$, $(Z_{s_{(i-1)}\to s_i})$ $(F^{фу}_{s_{(i-1)}\to s_i}(F_{s_{(i-1)}\to s_i})$, $A^{фу}_{s_{(i-1)}\to s_i}$ $(A_{s_{(i-1)}\to s_i})$) и является основой для формирования отображений:

$$Z^{фу}_{s_{(i-1)}} \to Z^{фу}_{s_i},$$
$$F^{фу}_{s_{(i-1)}} \to F^{фу}_{s_i}, \qquad (7.3)$$
$$A^{фу}_{s_{(i-1)}} \to A^{фу}_{s_i}.$$

где $Z^{фу}_{s_{(i-1)}}$ и $Z^{фу}_{s_i}$ - множество задач, выполняемых системой в состояниях $s_{(i-1)}$ и $s_i$,

соответственно, $F^{фу}_{s_{(i-1)}}$ и $F^{фу}_{s_i}$ - множество функций, выполняемых системой в состояниях $s_{(i\text{-}1)}$ и $s_i$, соответственно, $A^{фу}_{s_{(i-1)}}$ и $A^{фу}_{s_i}$ - множество целей, выполняемых системой в состояниях $s_{(i\text{-}1)}$ и $s_i$, соответственно.

Выполнение отображений (7.3) с учетом определения состояний системы, которые подвержены воздействию ДФ, позволяют выделять совокупности элементов системы, способных выполнить каждые задачу, функцию и цель системы. Каждое состояние системы, описывающее выполнение задачи, функции, цели, можно представить в виде матриц $g$, имеющих размерности $m \times k$, где $m$ – количество состояний системы, показывающих выполнение каждых задачи, функции и цели, $k$ – количество элементов ИУС, совокупность которых описывает каждое состояние системы. Элементы таких матриц $g \in \{0, 1\}$, при этом значение в ячейке матрицы соответствует «1», если для выполнения состояния системы (выполнения задачи, функции, цели) используется элемент системы, если не используется – символ «0». Строки формируемых матриц, характеризующих возможность выполнения задачи, функции, цели набором элементов системы, обеспечивающим данное состояние, определяют выбор и использование сценариев действий по обеспечению ФУ и непрерывности функционирования системы.

$$V_{Ni} = \left|1 \quad 0 \quad 1 \quad 0 \quad \ldots \quad 0\right|.$$

Учитывая, что для любых двух состояний системы $s_{(i\text{-}1)}$ и $s_i$ в которых она функционально устойчива все элементы множеств $Z^{фу}_{s_i}$, $F^{фу}_{s_i}$ и $A^{фу}_{s_i}$ остаются неизменными относительно отображений (7.3), тогда справедливо

$$g_j = const, \forall s_j \in S_1. \tag{7.4}$$

При использовании резервирования элементов, матрица состояний системы в любой момент времени совпадает с матрицей, характеризующей ее начальное состояние. Использование стратегий изменения структуры системы, когда в ней появляются новые состояния, характеризующие выполнение задач, функций, целей, матрица ее состояний меняется.

Наличие сценариев функциональной реконфигурации ИУС и возможность их реализации описывают способность системы функционировать в условиях воздействия ДФ, приводящих к нарушению ее функционирования. Каждому сценарию действия, позволяющего выполнить состояние системы, ставится в соответствие некоторая матрица $g^i_j \in g_i$.

Обобщая рассмотренный материал, формирование сценария включает себя два основных этапа:

1. определение множества состояний системы, характеризующих ее функционирование;

2. формирование матриц вариантов задействования совокупностей элементов ИУС, позволяющих выполнить множество состояний системы $g_j^i \in g_i$.

Множество матриц каждого состояния формируют множество сценариев действий ЛПР при нарушении состояний системы, для обеспечения непрерывности и устойчивости функционирования ИУС.

В условиях ограниченного количества ресурсов системы любая функциональная реконфигурация системы, связанная, в том числе, с изменением ее структуры, скорее всего, приведет к деградации системы, связанной с изменением количества задач, функций, целей, которые система может выполнить, либо с сокращением алгоритма их выполнения, либо снижением качества их выполнения, либо увеличения времени их выполнения.

При формировании сценариев действий, и их реализации необходимо для каждого состояния определение тех задач, функций, целей, которыми можно пренебречь и которые не влияют на выполнение состояния системы или ее целевого предназначения. Кроме этого, необходимо определение ресурсов системы, которые могут быть использованы, вместо подверженных воздействию дестабилизирующих факторов и влияющих на текущее состояние системы.

Удаление части задач, функций, целей требует определение их значимости. Определение значимости каждой задачи, функции, цели системы определяется путем их ранжирования по степени важности для выполнения каждого состояния ИУС. Каждой задачи $Z = \{Z_1, Z_2, \ldots, Z_q\}$, функции из множества $F = \{F_1, F_2, \ldots, F_c\}$, цели $A = \{A_1, A_2, \ldots, A_a\}$ ставится в соответствие ее вес $k$ из множества $K = \{k_{iZ1}, k_{iZ2}, \ldots, k_{iZq}, k_{iF1}, k_{iF2}, \ldots, k_{iFc}, k_{iA1}, k_{iA2}, \ldots, k_{iAa}\}$. После ранжирования и определения весовых коэффициентов задач, функций, целей для каждого состояния ИУС формируется множество сценариев действий, включающих все возможные оставляемые комбинации выполнения задач, функций, целей для данного состояния системы. Каждый сценарий может включать перечень задач от 1 до ($q$ - 1), функций от 1 до ($c$ - 1), целей от 1 до ($a$ - 1), где $q$, $c$, $a$ – общее количество задач, функций, целей в рамках одного любого $s_i$ состояния системы. Каждый сценарий, сформированный для любого $s_i$ состояния ИУС, будет иметь вес, который соответствует сумме весов задач, функций, целей для данного состояния системы:

$$K_{s_i} = \sum_{j=1}^{q-1} k_{iZ_j},$$

$$K_{s_i} = \sum_{j=1}^{c-1} k_{iF_j}, \qquad (4)$$

$$K_{s_i} = \sum_{j=1}^{a-1} k_{iA_j} \ .$$

Если в процессе реализации сценария действия, требуется выполнение определенных задач, функций, целей, то при нарушении выполнения состояния системы выбирается тот сценарий, в котором имеются данные задачи, функции, цели с максимальным суммарным весом. Если такой потребности нет, то выбирается сценарий с максимальным весом.

Процесс функциональной реконфигурации ИУС, ее состояний, включающий перераспределение, изменение порядка выполнения задач, функций, целей для выполнения текущего состояния системы $s_i$ между другими работоспособными элементами системы требует формирования регламентов выполнения каждого состояния системы. Оценочным показателем формирования сценариев действий в этом случае может выступать время, необходимое для выполнения каждой задачи, функции, цели и состояния системы в целом. При построении регламентов выполнения состояний системы необходимо решение следующей оптимизационной задачи:

$$\min_t \mathrm{P}_{s_i} \cong \{\min_t \mathrm{P}_{Zs_i}, \min_t \mathrm{P}_{Fs_i}, \min_t \mathrm{P}_{As_i}\}. \qquad (5)$$

где $\mathrm{P}_{s_i}$ - регламент состояния $s_i$, $\mathrm{P}_{Zs_i}$ - регламент выполнения задач для состояния $s_i$, $\mathrm{P}_{Fs_i}$ - регламент выполнения функций для состояния $s_i$, $\mathrm{P}_{As_i}$ - регламент выполнения целей для состояния $s_i$.

Данная задача решается для всех состояний ИУС $s_i \in S_1$. Сформированные регламенты являются сценариями действий в случае не выполнения состояния системы.

Реализация сценариев изменения алгоритмов выполнения задач, функций, целей системы, ее состояний, в силу невозможности выполнения данных алгоритмов в полном объеме, из-за отсутствия или ограниченности ресурсного обеспечения функционирования ИУС, включает:

определение состава полных алгоритмов выполнения задач, функций, целей, позволяющих их выполнять;

определение элементов ИУС, которые могут выполнять с измененным алгоритмом требуемый перечень задач, функций, целей.

Для каждых задачи, функции и цели процедура изменения алгоритма их выполнения может сводиться к полной или частичной замене либо удалению его элементов. При этом замена алгоритма может быть обусловлена снижением точности и энергетических затрат на его реализацию, изменению параметров расчетных задач, количества измеряемых параметров, а также снижения требований по качеству выполнения к выполняемым

задачам, функциям, целям. Такая процедура в каждом конкретном случае может иметь разный физический смысл. Если для выполнения функции требуется выполнение определенного набора задач, либо для выполнения задачи – набора действий, то выполнение функции или задачи может быть реализовано путем уменьшения задач в функции, действий в задаче, либо путем остановки выполнения функции на этапе выполнения любой задачи, из множества задач ее реализующих. Аналогично для задачи и действий ее реализующих. Такая ситуация характерна при решении задач распознавания образов, изображений, текстов, определения местоположения объектов и других случаях.

При формировании сценариев действий, направленных на изменение алгоритма выполнения задач, функций, целей для каждого состояния системы связи $s_i$ ставится в соответствие множество алгоритмов, их реализующих:

$$Z_{s_i} \Leftrightarrow B_{Zs_i}\left\{b_j^{(1)}, b_j^{(2)}, b_j^{(3)}, \ldots, b_j^{(u)}\right\}, j=\overline{1,q},$$

$$F_{s_i} \Leftrightarrow B_{Fs_i}\left\{b_j^{(1)}, b_j^{(2)}, b_j^{(3)}, \ldots, b_j^{(u)}\right\}, j=\overline{1,c},$$

$$A_{s_i} \Leftrightarrow B_{As_i}\left\{b_j^{(1)}, b_j^{(2)}, b_j^{(3)}, \ldots, b_j^{(u)}\right\}, j=\overline{1,a}.$$

где $u$ – параметр, характеризующий степень изменения алгоритма выполнения задач, функций, целей системы.

Каждому множеству $B_{Zs_i}$, $B_{Fs_i}$, $B_{As_i}$ ставится в соответствие другое множество $B_{Zs_i} \Leftrightarrow \mathrm{H}_{Zs_i}\left\{h_j^{(1)}, h_j^{(2)}, h_j^{(3)}, \ldots, h_j^{(u)}\right\}, j=\overline{1,q}$, $B_{Fs_i} \Leftrightarrow \mathrm{H}_{Fs_i}\left\{h_j^{(1)}, h_j^{(2)}, h_j^{(3)}, \ldots, h_j^{(u)}\right\}, j=\overline{1,c}$, $B_{As_i} \Leftrightarrow \mathrm{H}_{As_i}\left\{h_j^{(1)}, h_j^{(2)}, h_j^{(3)}, \ldots, h_j^{(u)}\right\}, j=\overline{1,a}$ элементы, которых характеризуют качество выполнения соответствующих задач, функций и целей. Формирование различных комбинаций множеств $B_{Zs_i}$, $B_{Fs_i}$, $B_{As_i}$ определяют сценарии действий обеспечения функциональной устойчивости и непрерывности функционирования ИУС путем изменения алгоритмов выполнения задач, функций и целей.

Используя измененные алгоритмы выполнения задач, функций и целей необходимо учитывать погрешности выполнения измененного алгоритма, при этом время реализации нового алгоритма для выполнения задач, функций, целей должно соответствовать времени выполнения исходного алгоритма, либо оцениваться его увеличение.

Сценарий распределения задач, функций, целей системы между ее работоспособными элементами осуществляется за счет дополнительных возможностей таких элементов, использования их незадействованного ресурса, а также за счет снижения требований к времени выполнения распределяемых задач, функций, целей.

Выделение процессов и регламентов выполнения задач, функций и целей системы, формирование сценариев противодействия воздействиям являются основой автоматизации

процесса управления ИУС. Построение ИУС для СТС позволит своевременно реагировать на события нарушения ее устойчивого и непрерывного функционирования.

## 7.3. Способ проектирования и построения функциональной устойчивой системы

При построении систем возникают проблемы унификации и временных затрат, что обусловлена множественностью составляющих системы, а также необходимостью учета всех вариантов взаимодействия ее элементов, что определяет необходимость унификации решений для проектирования и построения [411-415] различных видов сложных технических систем, состоящих из различного количества подсистем, сокращения времени, уменьшения вычислительных и энергетических затрат на построение системы. Наряду с этим, существует проблема создания такой системы, которая была бы способна выполнить требования ЛПР при использовании минимального количества ресурсов системы. Это определяет актуальность разработки подхода, позволяющего реализовать эти требования с оной стороны, а с другой определяет противоречие между потребностями ЛПР и возможностями системы по их реализации.

Данное противоречие обуславливает существование актуальной **научной задачи**, заключающейся в необходимости разработки методики автоматизированного проектирования и построения сложной технической системы, позволяющего расширить возможности по проектированию и построению не только систем защиты, но и других видов сложных технических систем, состоящих из различного количества подсистем, учитывать функциональные возможности как подсистем, так и самой сложной технической системы, сократить время на ее построение, снизить вычислительные, энергетические затраты при проектировании системы за счет уменьшения количества вариантов построения подсистем и вариантов построения самой системы.

**Суть методики** заключается в автоматизации процесса построения системы, основанного на определении целевого предназначения системы, выполнение которого возможно за счет определенной структурно-функциональной характеристики системы и определенного набора ресурсов, определения перечня подсистем, входящих в систему, формирование вариантов их построения, моделировании процесса функционирования подсистем и самой системы и выбора того варианта построения подсистем и самой системы, который позволит выполнить требования ЛПР.

**Показателями эффективности** являются вероятность построения сложной технической системы, позволяющей своевременно выполнить целевое предназначение

системы при задействовании минимальном количестве ресурсов, имеющихся в ней, за время установленное для ее построения $P_A\left(T_{\text{форм сист}} \le T_{\text{форм сист треб}} \middle| E_{\text{затрач}} \le E,\ A \equiv A_{\text{треб}}\right)$, где $T_{\text{форм сист}}$ – время затрачиваемое на построение системы, $T_{\text{форм сист треб}}$ – максимальное требуемое время, которое может быть затрачено на построение системы, $E_{\text{затрач}}$ – количество ресурсов, которое необходимо затратить на построение системы, $E$ – количество ресурсов, которое имеется в системе, $A$ – целевое предназначение системы, которую строим с использование методики, $A_{\text{треб}}$ – целевое предназначение системы, которое она должна выполнить,

Вводимые **ограничения**:

рассматриваемая система состоит из множества подсистем;

рассматриваемая система и ее подсистемы представляют собой множество разнородных элементов;

совокупность подсистем позволяет построить систему и обеспечить выполнение ее своего целевого предназначения;

каждая подсистема имеет свое целевое предназначение, выполняет набор функций и задач за счет имеющегося у нее ресурса, а также к ней и ее элементам предъявляются определенные требования;

связь элементов друг с другом внутри подсистемы определяется техническими возможностями технических средств, находящихся на них;

связь между подсистемами определяется результатом их функционирования и выполнением своего целевого предназначения;

процесс функционирования системы (достижение целевого предназначения) определяется выполнением им (ее элементами) определенного (требуемого) перечня функций и целевого предназначения;

ресурс, используемый для проектирования и построения системы исправен и работоспособен.

Принято **допущение**: имеющийся у проектировщиков ресурс достаточен для выполнения целевого предназначения системы.

**Исходными данными** в методике являются:

состав сложной технической системы, включающий $G$ элементов и $L$ линий, и ее структура в виде графа $R = (G, L)$;

множество технических средств, находящихся на элементах системы, выступающих в качестве технического ресурса системы $O = \{O_1, O_2, \ldots, O_o\}$;

множество подсистем системы, состоящих из технических средств, предназначенных для выполнения их целевого предназначения $V = \{ V_1, V_2, \ldots, V_i\}$;

множество вариантов построения каждой подсистемы системы $V_i = \{A_{i1}, A_{i2}, \ldots, A_{ij}\}$, $j\epsilon\{1, 2, ..., J\}$, $i\epsilon\{1, 2, ..., I\}$;

множество функций, которые выполняет подсистема сложной технической системы $F_i = \{F_{i1}, F_{i2}, \ldots, F_{ic}\}$;

множество функций, которые выполняет сложная техническая система $F = \{F_{11}, F_{12}, \ldots, F_{1c}, F_{21}, F_{22}, \ldots, F_{2c}, \ldots, F_{i1}, F_{i2}, \ldots, F_{ic}\}$;

множество задач, которые выполняет каждая подсистема сложной технической системы $Z_i = \{ Z_{i1}, Z_{i2}, \ldots, Z_{iq}\}$;

множество задач, которые выполняет сложная техническая система $Z = \{Z_{11}, Z_{12}, \ldots, Z_{1q}, Z_{21}, Z_{22}, \ldots, Z_{2q}, \ldots, Z_{i1}, Z_{i2}, \ldots, Z_{iq}\}$;

множество ресурсов, которые необходимы для построения каждой подсистемы сложной технической системы $E_i = \{E_{i1}, E_{i2}, \ldots, E_{im}\}$;

множество ресурсов, которые необходимы для построения сложной технической системы $E = \{E_{11}, E_{12}, \ldots, E_{1m}, E_{21}, E_{22}, \ldots, E_{2m}, \ldots, E_{i1}, E_{i2}, \ldots, E_{im}\}$;

множество требований, предъявляемых к построению каждой подсистемы сложной технической системы $T_i = \{T_{i1}, T_{i2}, \ldots, T_{in}\}$;

множество требований, предъявляемых к построению сложной технической системы $T = \{T_{11}, T_{12}, \ldots, T_{1n}, T_{21}, T_{22}, \ldots, T_{2n}, \ldots, T_{i1}, T_{i2}, \ldots, T_{in}\}$;

множество параметров оценки качества функционирования каждой подсистемы сложной технической системы $H_i = \{H_{i1}, H_{i2}, \ldots, H_{id}\}$;

множество параметров оценки качества функционирования сложной технической системы $H = \{H_{11}, T_{12}, \ldots, H_{1d}, H_{21}, H_{22}, \ldots, H_{2d}, \ldots, H_{i1}, H_{i2}, \ldots, H_{id}\}$;

целевое предназначение системы, выполнение которого обеспечивается выполнением функций системы $A = \{F_1, F_2, \ldots, F_j\}$.

**Используемые методы:** методы теории графов; методы теории матриц, методы теории вероятности, методы теории множеств.

**Описание методики**

Автоматизированное построение ИУС можно разделить на три основных этапа. На первом этапе формируется множество возможных вариантов построения подсистем сложной технической системы, ограниченное требованиями к подсистемам системы, возможностью выполнения ими необходимого перечня задач и функций, возможностью совместного функционирования подсистем, на втором этапе формируется множество возможных вариантов построения ИУС, ограниченное требованиями к СТС, возможностью выполнения ее необходимого перечня задач и функций, на третьем этапе производится ресурсная оценка затрат на построение системы и выбирается наиболее эффективный

вариант построения ИУС.

Рассмотрим порядок выполнения методики, основные элементы которой представлены блок-схемой (рис. 7.2).

Декомпозиция по подсистемам основывается на том, что большинство сложных технических систем можно представить в виде множества подсистем, выполняющих определенные функции и решающих определенные задачи. Универсальность использования способа для технических систем определяется возможностью задания необходимого перечня подсистем, входящих в систему.

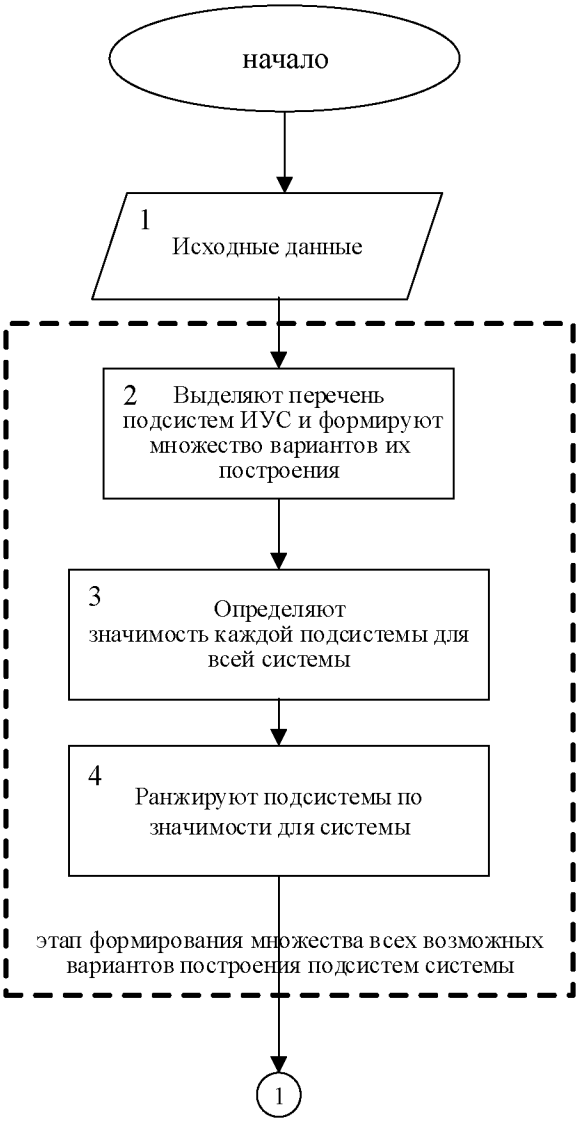



Рисунок 7.2 – Блок схема реализации методики автоматизированного проектирования и построения ИУС (начало)

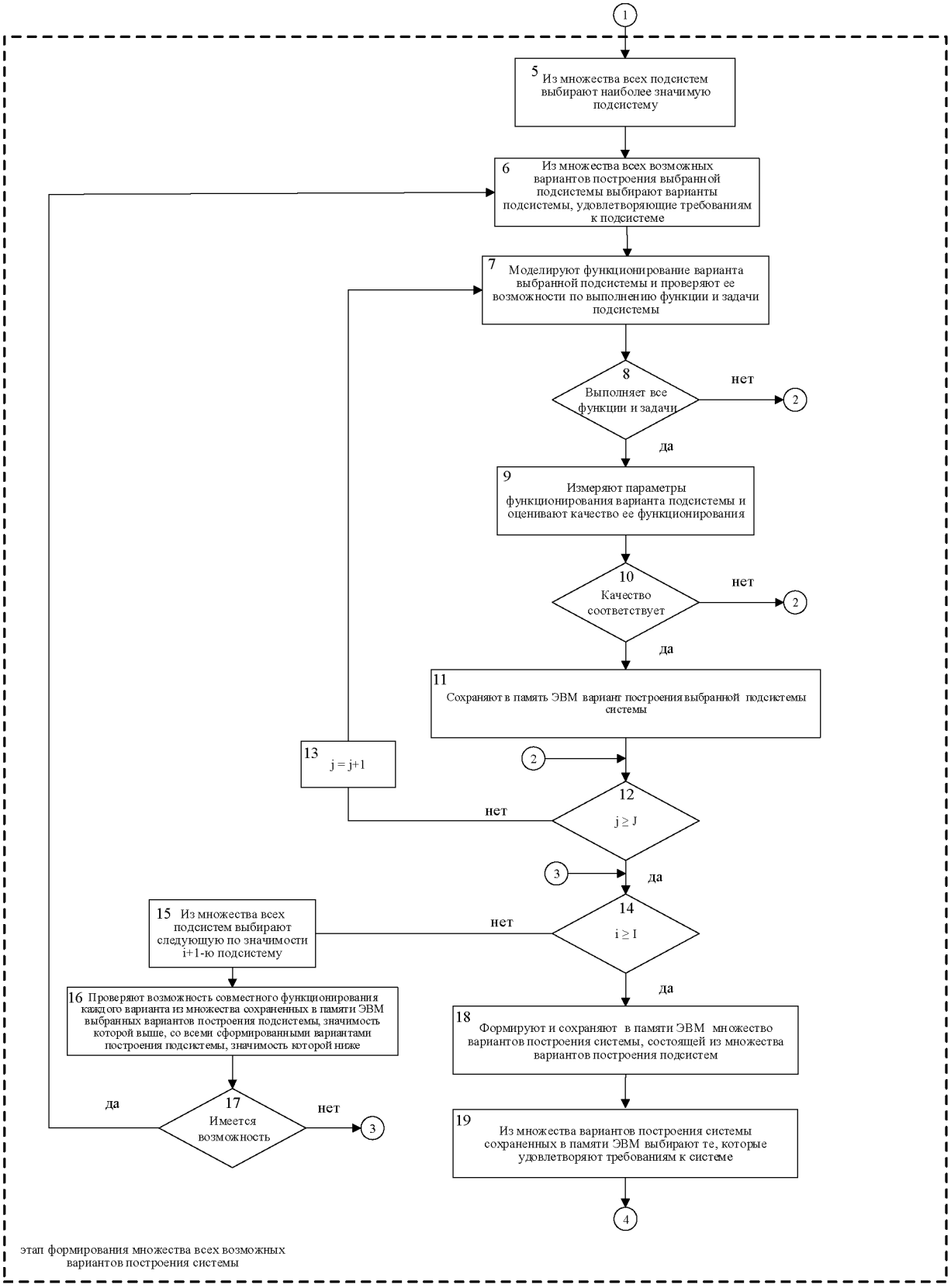



Рисунок 7.2 – Блок схема реализации методики автоматизированного проектирования и построения ИУС (продолжение)

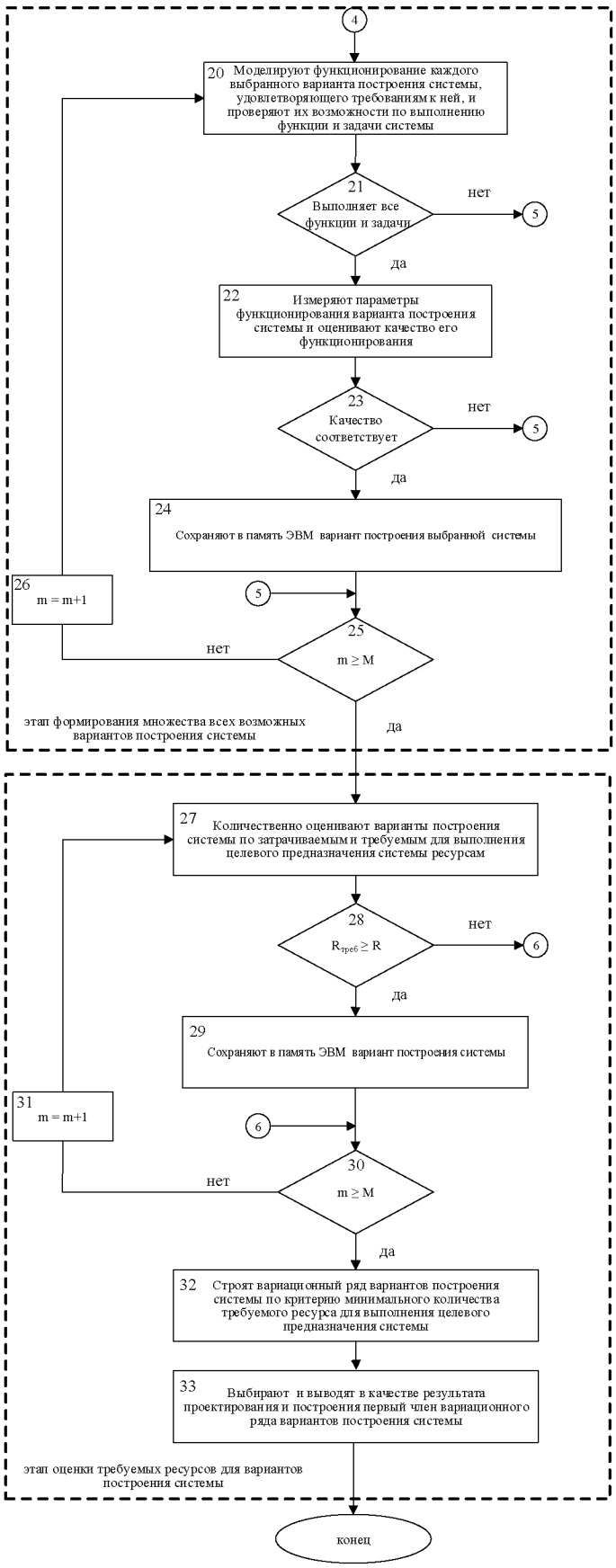



Рисунок 7.2 – Блок схема реализации методики автоматизированного проектирования и построения ИУС (окончание)

На начальном этапе автоматизированного проектирования и построения ИУС формируют исходные данные (блок 1 рис. 7.2), для чего определяют целевое предназначение системы, задают требования к системе, задают перечень функций и задач выполняемых системой, выделяют перечень подсистем системы [214, 227, 416], задают требования к подсистемам ИУС, задают перечень функций и задач выполняемых подсистемами ИУС, задают перечень параметров для оценки качества функционирования каждой подсистемы и всей системы.

Декомпозиция по последовательности выполнения процедур формирования вариантов построения ИУС включает выделение перечня подсистем ИУС $V = \{V_1, V_2, \ldots, V_i, i\in\{1, 2, ..., I\}\}$, где $I$ – общее количество подсистем в системе(блок 2 рис. 7.2).

Вариант построения каждой подсистемы формируется на основе структуры подсистемы, которая представляет собой совокупность элементов $L$ подсистемы, реализующих способы решения задач и выполнения функций подсистемы и совокупности параметров $F$ подсистемы. Множество вариантов построения любой подсистемы представляет собой набор, состоящий их элементов множества $A_{ij}$, где $i$ характеризует номер подсистемы, а $j$ – порядковый номер варианта построения $i$-й подсистемы. При проектировании и построении ИУС формируются следующие множества всех возможных вариантов ее построения для каждой подсистемы:

$$V_1 = \{A_{11}, A_{12}, \ldots, A_{1j}, j\in\{1, 2, ..., J\}\};$$
$$V_2 = \{A_{21}, A_{22}, \ldots, A_{2j}, j\in\{1, 2, ..., J\}\};$$
$$V_i = \{A_{i1}, A_{i2}, \ldots, A_{ij}, j\in\{1, 2, ..., J\}\},$$

где $J$ - количество всех возможных вариантов построения $i$-й подсистемы, входящей в состав системы.

При формировании множества возможных вариантов построения подсистем СТС определяют значимость каждой подсистемы для сложной технической системы (блок 3 рис. 7.2) [417], ранжируют подсистемы по значимости для технической системы (блок 4 рис. 7.2).

Выбирают наиболее значимую подсистему ИУС (блок 5 рис. 7.2). Последовательно для всех подсистем, начиная с наиболее значимой подсистемы из множества всех возможных вариантов построения наиболее значимой подсистемы выбирают варианты построения подсистемы, удовлетворяющие требованиям к подсистеме (блок 6 рис. 7.2) $V^*_1 = \{A^*_{11}, A^*_{12}, \ldots, A^*_{1j}, j\in\{1...J\}\}$.

Моделируют функционирование каждого варианта построения выбранной наиболее значимой подсистемы (блок 7 рис. 7.2) и проверяют их возможности по выполнению функции и задачи подсистемы (блок 8 рис. 7.2) [418-424] $V^{**}_1 = \{A^{**}_{11}, A^{**}_{12}, \ldots, A^{**}_{1j},$

$j\in\{1...J\}\}$. Если вариант построения подсистемы не выполняет возложенные на нее функции и задачи, то переходят к блоку 12 рис. 7.2 и проверяют следующий вариант построения выбранной наиболее значимой подсистемы.

Если вариант подсистемы выполняет все возложенные на нее функции и задачи, то измеряют параметры функционирования каждого варианта построения наиболее значимой подсистемы (блок 9 рис. 7.2) и оценивают качество их функционирования (блок 10 рис. 7.2) [425].

Если качество функционирования варианта построения подсистемы не удовлетворяет требованиям, то переходят к блоку 12 рис. 7.2 и проверяют следующий вариант построения подсистемы.

Если качество функционирования варианта построения подсистемы удовлетворяет требованиям, то сохраняют в память ЭВМ все возможные варианты построения наиболее значимой подсистемы системы (блок 11 рис. 7.2), удовлетворяющие требованиям к подсистеме, позволяющие выполнить возложенные на подсистему функции и задачи, значения измеренных параметров которых удовлетворяют заданным критериям $V^{***}_1 = \{A^{***}_{11}, A^{***}_{12}, \ldots, A^{***}_{1j}, j\in\{1...J\}\}$.

Проверяют, все ли варианты построения наиболее значимой подсистемы системы проверены (блок 12 рис. 7.2), если нет, выбирают следующий вариант построения наиболее значимой подсистемы (блок 13 рис. 7.2) и выполняют действия, представленные в блоках 6 – 11 рис. 7.2.

После проверки всех вариантов построения наиболее значимой подсистемы ИУС и формирования множества возможных вариантов построения наиболее значимой подсистемы системы, которые будут использоваться для построения ИУС, проверяют наличие не проверенных подсистем (блок 14 рис. 7.2). Если не проверенные подсистемы есть, то выбирают следующую по значимости подсистему (блок 15 рис. 7.2) [426].

Проверяют возможность совместного функционирования (блоки 16 рис. 7.2) каждого варианта из множества сохраненных в памяти ЭВМ выбранных вариантов построения подсистемы, значимость которой выше, со всеми сформированными вариантами построения подсистемы, значимость которой ниже $V^*_2 = \{A^*_{21}, A^*_{22}, \ldots, A^*_{2j}, j\in\{1...J\}\}$ [427]. Если отсутствует возможность совместного функционирования варианта построения подсистемы, значимость которой ниже, с вариантом построения подсистемы, значимость которой выше, то переходят к проверке следующего варианта построения подсистемы (блок 17 рис. 7.2). Проверка осуществляется до тех пор, пока не проверят возможность совместного функционирования каждого варианта построения наиболее значимой подсистемы с каждым вариантом построения подсистемы, значимость, которой ниже.

Если имеется возможность совместного функционирования варианта построения подсистемы, значимость которой ниже, с вариантом построения подсистемы, значимость которой выше, то из множества вариантов построения подсистемы, значимость которой ниже, и которые могут совместно функционировать хотя бы с одним любым вариантом из множества сохраненных в памяти ЭВМ выбранных вариантов построения подсистемы, значимость которой выше, выбирают варианты построения подсистемы, значимость которой ниже, удовлетворяющие требованиям к этой подсистеме (блок 6 рис. 7.2) $V^{**}_2 = \{A^{**}_{21}, A^{**}_{22}, \ldots, A^{**}_{2j}, j\in\{1...J\}\}$ [428].

Моделируют функционирование каждого варианта построения подсистемы из множества вариантов построения подсистемы (блок 7 рис. 7.2), значимость которой ниже, которые могут совместно функционировать хотя бы с одним любым вариантом из множества сохраненных в памяти ЭВМ выбранных вариантов построения подсистемы, значимость которой выше, удовлетворяющих требованиям к подсистеме, значимость которой ниже, и проверяют их возможности по выполнению функции и задачи этой подсистемы, значимость которой ниже, (блок 8 рис. 1) $V^{***}_2 = \{A^{***}_{21}, A^{***}_{22}, \ldots, A^{***}_{2j}, j\in\{1...J\}\}$.

Если вариант построения подсистемы не выполняет возложенные на нее функции и задачи, то переходят к блоку 12 рис 7.2 и проверяют следующий вариант построения подсистемы.

Если вариант построения подсистемы выполняет все возложенные на нее функции и задачи, то измеряют параметры функционирования каждого варианта подсистемы (блок 9 рис. 7.2) из множества вариантов построения подсистемы, значимость которой ниже, которые могут совместно функционировать хотя бы с одним любым вариантом из множества сохраненных в памяти ЭВМ выбранных вариантов построения подсистемы, значимость которой выше, удовлетворяющих требованиям к подсистеме, значимость которой ниже, и позволяющих выполнить функции и задачи этой подсистемы, и оценивают качество их функционирования (блок 10 рис. 7.2) [429-433].

Если качество функционирования варианта построения подсистемы не удовлетворяет требованиям, то переходят к блоку 12 рис. 7.2 и проверяют следующий вариант построения подсистемы.

Если качество функционирования варианта построения подсистемы удовлетворяет требованиям, то сохраняют в память ЭВМ все возможные варианты построения подсистемы (блок 11 рис. 7.2), значимость которой для всей системы ниже, которые могут совместно функционировать хотя бы с одним любым вариантом из множества сохраненных в памяти ЭВМ выбранных вариантов построения подсистемы, значимость которой выше,

удовлетворяющих требованиям к ней, позволяющие выполнить возложенные на нее функции и задачи, значения измеренных параметров которых удовлетворяют заданным критериям $V^{****}{}_2 = \{A^{****}{}_{21}, A^{****}{}_{22}, \ldots, A^{****}{}_{2j}, j\in\{1...J\}\}$.

Представленную последовательность действий по выбору вариантов построения подсистем ИУС повторяют для всех подсистем, в соответствии с их значимостью (блоки 6-17 рис. 7.2).

Формирование всех вариантов построения ИУС, состоящей из подсистем, формируемых полным перебором всех возможных вариантов построения системы из подсистем представлено на рис. 7.3. Построение системы с использованием предлагаемых методики автоматизированного проектирования и построения ИУС реализуется за счет выбора ранжирования по значимости подсистем и выбора для каждой последующей подсистемы такого варианта, который бы удовлетворял предъявляемым требованиям, что представлено в блоках 5-17 рис. 7.2, а также иллюстрируется на рис. 7.4.

На рис. 7.3 и 7.4 символами $V_1$, $V_2$, $V_3$, …, $V_i$ обозначаются подсистемы, входящие в состав ИУС, символами $A_{11}$, $A_{21}$, $A_{12}$, …, $V_{ij}$ обозначаются варианты построения каждой $i$-й подсистемы СТС. Линиями, связывающими варианты построения для каждой подсистемы, показана возможность их совместного использования для варианта построения системы. На рисунке 7.4 красным цветом обозначаются варианты построения подсистем, которые не соответствуют требованиям к подсистеме, зеленым цветом – варианты построения подсистем, не позволяющие выполнять требуемые функции и задачи, голубым – варианты построения подсистем, значения измеренных параметров для которых не соответствуют критериям, линиями между вариантами построения подсистем обозначена возможность совместного функционирования вариантов подсистем.

Формируют и сохраняют в памяти ЭВМ множество вариантов построения системы (блок 18 рис. 7.2), состоящих из множества вариантов построения подсистем $V^*\text{c} = \{V^{***}{}_1, V^{****}{}_2, \ldots, V^{****}{}_\text{i}, i\in\{1...I\}\}$, которые могут совместно функционировать, удовлетворяющих требованиям к подсистемам, позволяющих выполнить возложенные на подсистемы функции и задачи с требуемым качеством, значения измеренных параметров которых удовлетворяют заданным критериям $V^*c = \{V^*c_1, V^*c_2, \ldots, V^*c_m, m\in\{1...M\}\}$, где $M$ – множество сохраненных вариантов построения ИУС.

Выбирают из множества вариантов построения системы (блок 19 рис. 7.2) сохраненных в памяти ЭВМ те, которые удовлетворяют требованиям к системе $V^{*'}c = \{V^{*'}c_1, V^{*'}c_2, \ldots, V^{*'}c_m, m\in\{1...M\}\}$ и моделируют функционирование каждого выбранного варианта построения системы (блок 20 рис. 7.2), после чего проверяют их возможности по выполнению функции и задачи системы (блок 21 рис. 7.2) $V^{*''}c = \{V^{*''}c_1, V^{*''}c_2, \ldots, V^{*''}c_m, m\in\{1...M\}\}$.

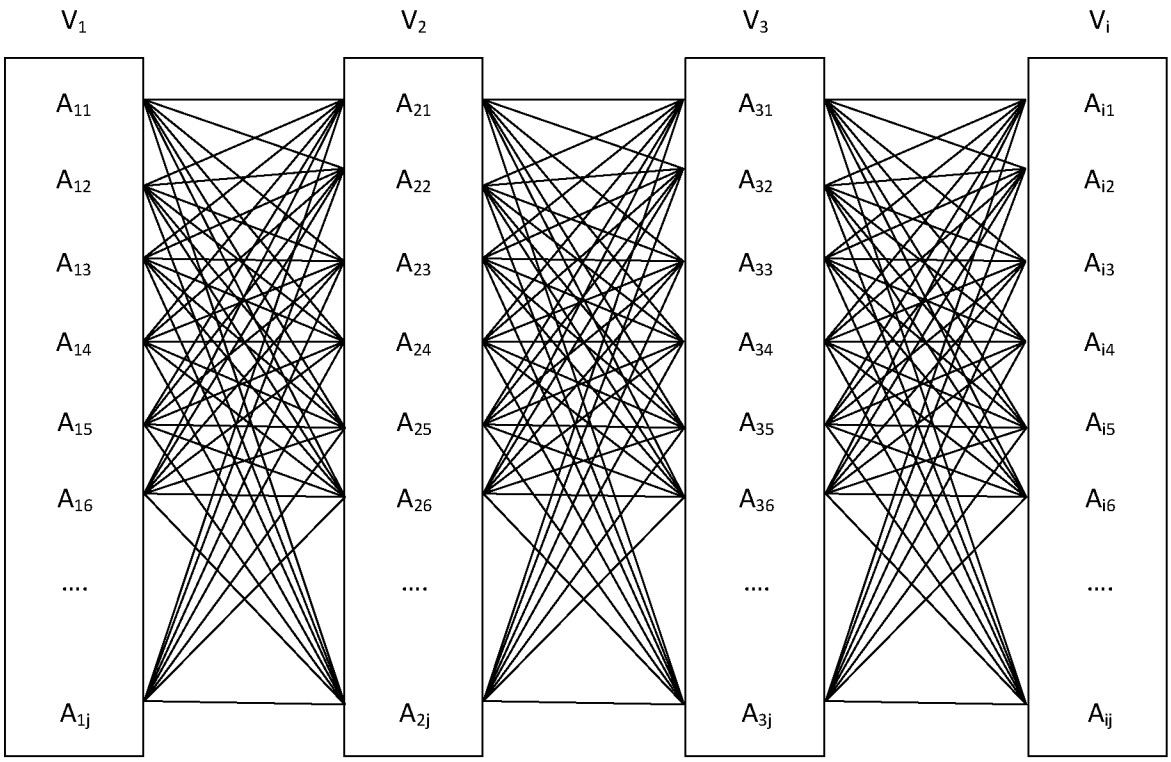



Рисунок 7.3 –. Графическое представление формирования множества всех возможных вариантов построения подсистем ИУС и множества всех возможных вариантов построения ИУС, при использовании полного перебора всех возможных вариантов построения системы

Если вариант построения системы не выполняет возложенные на нее функции и задачи, то переходят к выполнению блока 25 рис. 7.2 и проверяют следующий вариант построения системы.

Если вариант построения системы выполняет все возложенные на нее функции и задачи, то измеряют параметры функционирования каждого варианта построения системы (блок 22 рис. 7.2) и оценивают качество их функционирования (блок 23 рис. 7.2).

Если качество функционирования варианта построения системы не удовлетворяет требованиям, то переходят к выполнению блока 25 рис. 7.2 и проверяют следующий вариант построения системы. Если качество функционирования варианта построения системы удовлетворяет требованиям, то запоминают и сохраняют на ЭВМ вариант построения системы (блок 24 рис. 7.2), удовлетворяющий требованиям к системе, позволяющий выполнить возложенные на нее функции и задачи, значения измеренных параметров которых удовлетворяют заданным критериям $V^{*''}c = \{V^{*''}c_1, V^{*''}c_2, \ldots, V^{*''}c_m, m\epsilon\{1..M\}\}$.

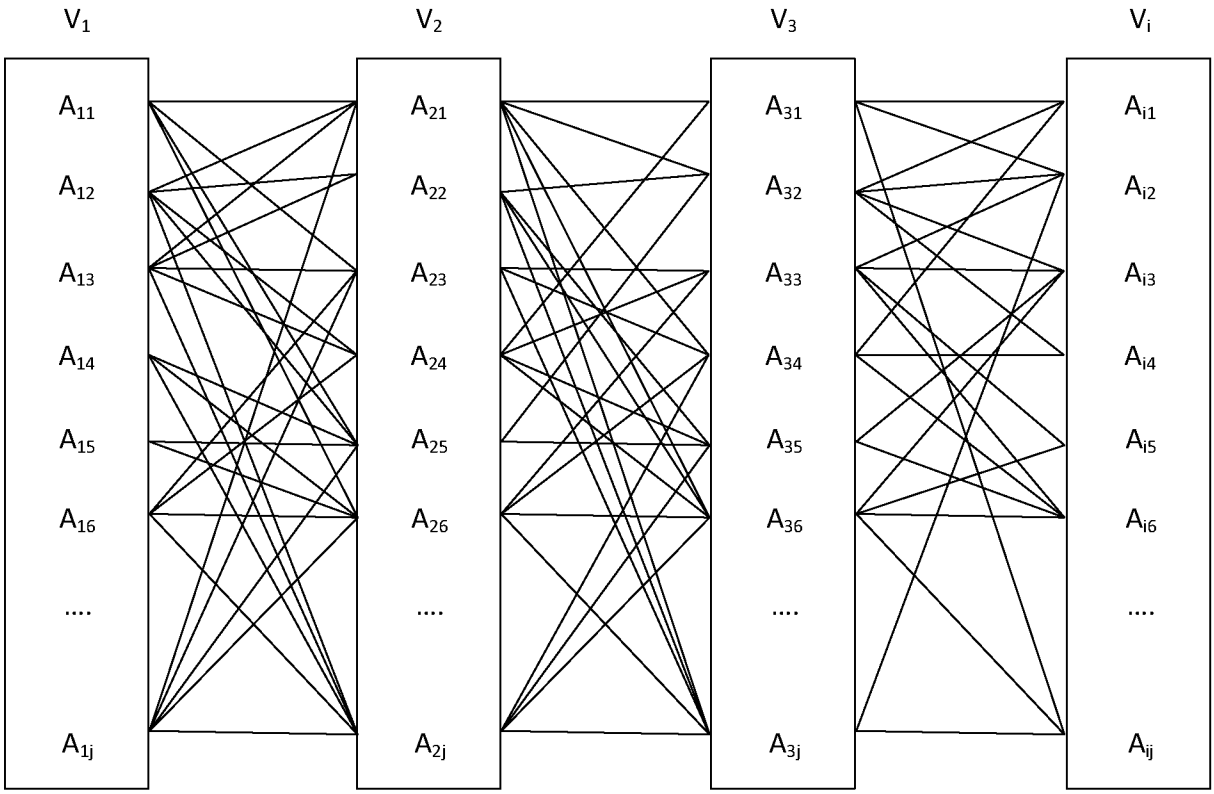



Рисунок 7.4 – Графическое представление формирования ограниченного множества возможных вариантов построения подсистем ИУС и ограниченного множества вариантов построения ИУС

Проверяют наличие не проверенных вариантов построения системы. Если имеются не проверенные варианты построения системы, то переходят к следующему варианту построения системы и производят действия, представленные в блоках 20 – 24 рис. 7.2. Если все варианты построения системы проверены, то переходят к этапу оценки требуемых ресурсов.

В ходе этапа оценки требуемых ресурсов для вариантов построения ИУС (блоки 27-32 рис. 7.2) с помощью компьютера определяют требуемые для функционирования каждого варианта построения системы, сформированного на предыдущем этапе, ресурсы, и количественно оценивают варианты построения системы по затрачиваемым для выполнения целевого предназначения системы ресурсам. Если для варианта построения системы и выполнения ее целевого предназначения требуется ресурсов более заданного, то переходят к оценке следующего варианта построения системы. Если для варианта построения системы и выполнения ее целевого предназначения требуется ресурсов не более заданного, то такой вариант построения системы, записывают в память компьютера (блок

29 рис. 7.2). Выполняют действия, представленные в блоках 27-29 рис. 7.2 для всех вариантов построения системы (блоки 30 - 31 рис. 7.2).

Строят вариационный ряд вариантов построения системы, сохраненных в памяти ЭВМ, как удовлетворяющих требованиям к ресурсному обеспечению, по критерию минимального количества требуемого ресурса для выполнения целевого предназначения системы (блок 32 рис. 7.2) [435].

Выбирают и выводят в качестве результата проектирования и построения ИУС первый член вариационного ряда вариантов построения системы (блок 33 рис. 7.2).

**Оценка результатов проектирования и построения ИУС**

Для того, чтобы показать выигрыш от использования предложенной методики рассмотрим множество всех возможных вариантов построения системы, состоящее из множества всех возможных вариантов построения подсистемы, для полного перебора и ограниченного множества возможных вариантов построения подсистем и ограниченного множества вариантов построения системы.

При этом, для удобства, сделаем предположение, что для всех подсистем, входящие в состав системы, формируют одинаковое множество вариантов построения подсистемы, которое равно $J$. Тогда общее количество возможных вариантов построения системы, которые необходимо сформировать при полном переборе (ПП) вариантов ее построения равно

$$M_{\text{общ ПП}} = J_1 * J_2 * J_3 * \ldots * J_i = J^i$$

где $i$ показывает количество подсистем в системе.

Общее количество возможных вариантов построения системы, которые необходимо сформировать для предлагаемых способа и методики равно:

$$M_{\text{общ}} = (J_1 - N_{11} - N_{12} - N_{13})* (J_2 - N_{20} - N_{21} - N_{22} - N_{23})* (J_3 - N_{20} - N_{31} - N_{32} - N_{33})* \ldots * (J_i - N_{i0} - N_{i1} - N_{i2} - N_{i3})$$

где $N_{20}$, $N_{30}$, $N_{i0}$ – количество вариантов построения каждой подсистемы в соответствии с значимостью, входящих в ИУС, которые совместно не могут функционировать с вариантами построения подсистемы, значимость которой выше;

$N_{11}$, $N_{21}$, $N_{31}$, $N_{i1}$ – количество вариантов построения каждой подсистемы в соответствии с значимостью, входящих в ИУС, которые не удовлетворяют требованиям;

$N_{12}$, $N_{22}$, $N_{32}$, $N_{i2}$ – количество вариантов построения каждой подсистемы в соответствии с значимостью, входящих в ИУС, которые не позволяют выполнять требуемые функции и задачи для подсистемы;

$N_{13}$, $N_{23}$, $N_{33}$, $N_{i3}$ – количество вариантов построения каждой подсистемы в соответствии с значимостью, входящих в ИУС, измеренные параметры которых не удовлетворяют

установленным критериям.

Наглядно видно, что количество вариантов построения системы значительно уменьшается и $M_{\text{общ ПП}} \geq M_{\text{общ}}$.

Для того чтобы показать полученный выигрыш от использования методики автоматизированного проектирования и построения ИУС, рассмотрим время необходимое на проектирование и построение системы. При этом, предположим, что для формирования каждого варианта построения любой подсистемы системы требуется одинаковое время, для построения и обработки любого одного варианта построения системы также требуется одинаковое время.

При полном переборе всех возможных вариантов построения ИУС с использованием всех возможных вариантов построения ее подсистем время, затрачиваемое на построение системы, можно представить в виде сумму времени, затраченного на каждый этап:

$$T_{\text{форм с}} = \sum t_{\text{форм сист m}} + \sum t_{\text{обраб сист m}}$$

где $t_{\text{форм сист m}}$ – время необходимое для формирования $m$-го варианта построения системы ИУС; $t_{\text{обраб сист m}}$ – время необходимое для обработки $m$-го варианта построения системы ИУС.

Для простоты, предположим, что количество вариантов построения каждой подсистемы, входящей в состав системы, одинаковое и равно $J$, тогда для предлагаемых способа и методики

$$\sum t_{\text{форм сист m}} = J^I * t_{\text{форм сист 1}}, \sum t_{\text{обраб сист m}} = J^I * t_{\text{обраб сист 1}}.$$

Тогда

$$T_{\text{форм с ПП}} = M_{\text{общ ПП}} * (t_{\text{форм сист 1}} + t_{\text{обраб сист 1}}).$$

Для предлагаемых способа и методики:

$$T_{\text{форм}} = (J_1 - N_{11} - N_{12} - N_{13}) * (t_{\text{форм сист 1}} + t_{\text{обраб сист 1}}) * \prod_{i=2}^{I} (J_i - N_{i0} - N_{i1} - N_{i2} - N_{i3})$$

Наглядно видно, что $T_{\text{форм с ПП}} \geq T_{\text{форм}}$.

Для меньшего количества вариантов построения ИУС необходимо меньшее количество энергетических и вычислительных затрат при построении системы.

Использование методики позволяют существенно сократить время, необходимое для построения системы, снизить вычислительные и энергетические затрат за счет уменьшения количества вариантов построения подсистем, из которых состоит система, и вариантов построения ее самой.

## 7.4. Способ обеспечения устойчивого функционирования аппаратно-программных объектов ИУС АН

Современные сложные технические системы и их элементы имеют в своем составе программное обеспечение, которое во взаимодействии с аппаратной частью выполняют задачи системы. Такие элементы, как правило, используются в системах управления, контроля, защиты, связи и т.д. и функционируют на основе определенных алгоритмов. Подверженность их воздействию различных ДФ, а также критичность таких элементов для системы определяют необходимость поиска методов обеспечения и повышения устойчивости их функционирования, т.е. способности их выполнять весь перечень требуемых функций и задач.

В способе защиты данных, [434] создают образ виртуальной машины, включающий файловую систему и гостевую операционную систему, устанавливают в файловую систему образа виртуальной машины требуемое программное обеспечение, выполняют настройку программного обеспечения; сохраняют информацию об изменениях в файловой системе, связанных с установкой и настройкой программного обеспечения, затем устанавливают операционную систему на целевом компьютере и повторяют указанные изменения на целевом компьютере, формируют первый переносной носитель информации, на котором размещают дистрибутив гостевой операционной системы, выполняют установку целевой операционной системы на целевой компьютер с использованием дистрибутива операционной системы на первом переносном носителе информации. Недостатком данного способа является то, что создание резервных копий после логически завершенных действий возможно только по команде оператора вручную. В процессе функционирования и эксплуатации системы резервное копирование происходит периодически без учета изменений и текущего состояния системы, что приводит к отсутствию актуальной копии в любой момент времени. При этом существенно возрастает время необходимое для подготовки и создания резервной копии, что приведет к увеличению времени восстановления функционирования компьютера.

В способе резервного копирования, [435] заключающийся в том, что устанавливают и настраивают программное обеспечение целевого компьютера ИТ-инфраструктуры предприятия, создают образ виртуальной машины, включающей файловую систему в гостевую операционную систему, выполняют настройку программного обеспечения, формируют первый переносной носитель информации, на котором размещают дистрибутив гостевой операционной системы, выполняют установку операционной системы на целевом компьютере с использованием дистрибутива операционной системы на первом переносном

носителе информации, применяют снимок изменений к образу виртуальной машины, осуществляют запуск соответствующего хранимого образа виртуальной машины. Недостатком данного способа является неэффективное использование ресурсов системы, обусловленное необходимостью постоянной синхронизации образа виртуальной машины и самой системы, существенное время, необходимое для реакции системы на сбой, принятия решения на переход на работу через виртуальную машину.

В способе установки, настройки и восстановления программного обеспечения сложных программно-аппаратных объектов [436] формируют переносной носитель информации, на котором создают базу данных, в которую сохраняют исходные данные что дополнительно задают и сохраняют в базе данных исходные данные, характеризующие количество функций, реализуемых сложным программно-аппаратным объектом, периодичность выполнения и время реализации каждой функции, реализуемой сложным программно-аппаратным объектом; периодичность контроля надежности каждого элемента, используемого в составе сложного программно-аппаратного объекта; набор значений параметров, характеризующих функционирование элемента сложного программно-аппаратного объекта; набор значений допустимого отклонения параметров каждого элемента, реализуемого в сложном программно-аппаратном объекте; эталонный набор значений параметров качества каждой функции, реализуемой в сложном программно-аппаратном объекте; набор значений допустимого отклонения параметров качества каждой функции, реализуемой в сложном программно-аппаратном объекте, для реализации каждой функции формируют последовательность задействования элементов сложного программно-аппаратного объекта; на основе сформированной последовательности задают последовательность снятия образов с элементов сложного программно-аппаратного объекта; настраивают сложный программно-аппаратный объект, полученные образы сохраняют в базу данных, находящуюся на переносном носителе информации; для реализации каждой из n-функций формируют последовательность задействования элементов сложного программно-аппаратного объекта; на основе сформированной последовательности задают последовательность снятия образов с элементов сложного программно-аппаратного объекта; разрабатывают модель надежного функционирования для исследуемого программно-аппаратного объекта; моделируют функционирование программно-аппаратного объекта в условиях сбоев и дефектов программирования, сохраняют результаты моделирования в базу данных; ранжируют результаты моделирования по периодичности возникновения ошибок и сбоев; на основании схемы взаимосвязи элементов программно-аппаратного объекта определяют степень влияния каждого элемента программно-аппаратного объекта на надежное функционирование всего

программно-аппаратного объекта; ранжируют степень влияния каждого элемента программно-аппаратного объекта на надежное функционирование всего программно-аппаратного объекта; на основании результатов моделирования функционирования программно-аппаратного объекта для каждого элемента сложного программно-аппаратного объекта корректируют значения периодичности контроля параметров качества реализуемой им функции и параметров, характеризующих его функционирование; на основании определенного влияния элементов программно-аппаратного объекта определяют периодичность сохранения промежуточных данных; осуществляется контроль времени функционирования последовательности, если условие выполнено, то завершается работа, если нет, то продолжается контроль; осуществляют функционирование программно-аппаратного объекта; на основе заданной последовательности снятия образов с элементов сложного программно-аппаратного объекта последовательно снимают эталонные образы операционных систем каждого элемента сложного программно-аппаратного объекта, полученные образы сохраняют в базу данных, находящуюся на переносном носителе информации; на основании определенной периодичности сохраняют промежуточные результаты вычислений на съемный носитель информации путем перезаписи сохраняемой информации; на основании определенной периодичности контроля путем сравнения эталонных образов и измеренных значений оценивают правильность функционирования сложного программно-аппаратного объекта и принимается решение о предотказовом состоянии элемента программно-аппаратного объекта; если условие выполнено, то переустанавливают необходимое программное обеспечение в соответствии со схемой взаимосвязи элементов программно-аппаратного объекта. Недостатком данного способа является неэффективное использование ресурса объекта, связанное с необходимостью восстановления всего программного обеспечения сложных аппаратно-программных объектов (САПО), а не тех элементов, которые используются для восстановления функций объекта, что приводит к увеличению времени восстановления программного обеспечения.

## Методика обеспечения устойчивого функционирования САПО

Результатом цифровизации и информатизации ИУС стало использование большого количество различных программно-аппаратных средств, обеспечивающих обмен информации между пользователями. Оказание телекоммуникационных услуг зависит от устойчивого функционирования самих сетей и системы, а также САПО, входящих в них. Такие объекты подвержены постоянному воздействию различных ДФ, приводящих к нарушению фракционирования САПО. Кроме этого, длительная эксплуатация, ошибки в

системе, преднамеренные воздействия злоумышленников могут приводить к появлению новых функций САПО, не характерных для них. Все это ведет к нарушению устойчивого функционирования самой ИУС. Таким образом, возникает противоречие между потребностями потребителей в качественных инфокоммуникационных услугах и оценкой качества функционирования самих систем, а также их элементов, представляющих собой САПО в любых условиях изменяющейся обстановки.

Данное противоречие обуславливает существование актуальной **научной задачи**, заключающейся в обеспечении устойчивого функционирования САПО, т.е. своевременного и качественного выполнения требуемого перечня своих функций, на решение которой направлена разрабатываемая методика.

**Суть методики** заключается в выявлении нарушенных и новых не декларированных функций, определении перечня элементов, участвующих в выполнении данных функций, ранжировании элементов и последовательном восстановлении программного обеспечения (ПО) проранжированных элементов с проверкой восстановления требуемых, удаления не декларируемых функций.

**Показателем эффективности** является вероятность своевременного выполнения требуемого перечня функций САПО $P_F(F_{\text{вып}} \geq F_{\text{треб}} | t_F \leq t_{F\,\text{треб}})$, на требуемом временном интервале $t_{F\,\text{треб}}$.

Вводимые **ограничения**:

рассматривается ИУС, состоящая из множества САПО;

каждый САПО представляет собой совокупность программных, программно-аппаратных элементов;

процесс функционирования любого САПО определяется выполнением им определенного (требуемого) перечня функций;

все ПО САПО имеется в наличии.

Принято **допущение**: память базы данных, предназначенной для хранения эталонов ПО САПО и его элементов достаточно для хранения, требуемого для его функционировании ПО.

**Исходными данными** в методике являются:

состав ИУС, включающий $G$ узлов и $L$ линий, и структура в виде графа $R = (G, L)$;

множество САПО находящихся на элементах ИУС $O = \{O_1, O_2, \ldots, O_o\}$;

множество элементов каждого САПО находящегося на элементах ИУС $S_o = \{S_{o1}, S_{o2}, \ldots, S_{oc}\}$;

множество функций каждого САПО находящегося на элементах ИУС $F_o = \{F_{o1}, F_{o2}, \ldots, F_{oj}\}$;

требования к процессу функционирования, предъявляемые к САПО, и характеризующие качество и сроки выполнения его функций.

**Критерием** вероятности функционирования САПО, время, требуемое для восстановления процесса функционирования.

**Используемые методы:** методы теории графов; методы теории вероятности, методы теории множеств.

**Описание методики**

Рассмотрим работу методики, основные элементы которой представлены блок-схемой (рис. 7.5).

В блоке 1 формируют исходные данные, включающие количество функций, реализуемых сложным программно-аппаратным объектом, периодичность выполнения и время реализации каждой функции, реализуемой САПО; эталонный набор значений параметров качества каждой функции, реализуемой в сложном программно-аппаратном объекте; набор значений допустимого отклонения параметров качества каждой функции, реализуемой в сложном программно-аппаратном объекте.

В блоках 2 и 3 формируют базу данных на ЭВМ и записывают в нее исходные данные. В блоке 4 настраивают САПО. В блоках 5 и 6 формируют эталонные образы всего программного обеспечения каждого элемента сложного программно-аппаратного объекта и записывают их в базу данных, находящуюся на переносном носителе информации и на ЭВМ.

В блоке 7 определяют последовательность задействования элементов для реализации каждой функции САПО. В блоке 8 определяют значимость каждой функции, реализуемой САПО для него. В блоке 9 ранжируют функции САПО по значимости для него [Правила ранжирования.

В блоке 10 определяют значимость каждого элемента САПО, участвующих в реализации *j*-ой функции, для функций [319, 372] и в блоке 11 ранжируют его элементы по значимости для каждой реализуемой функции.

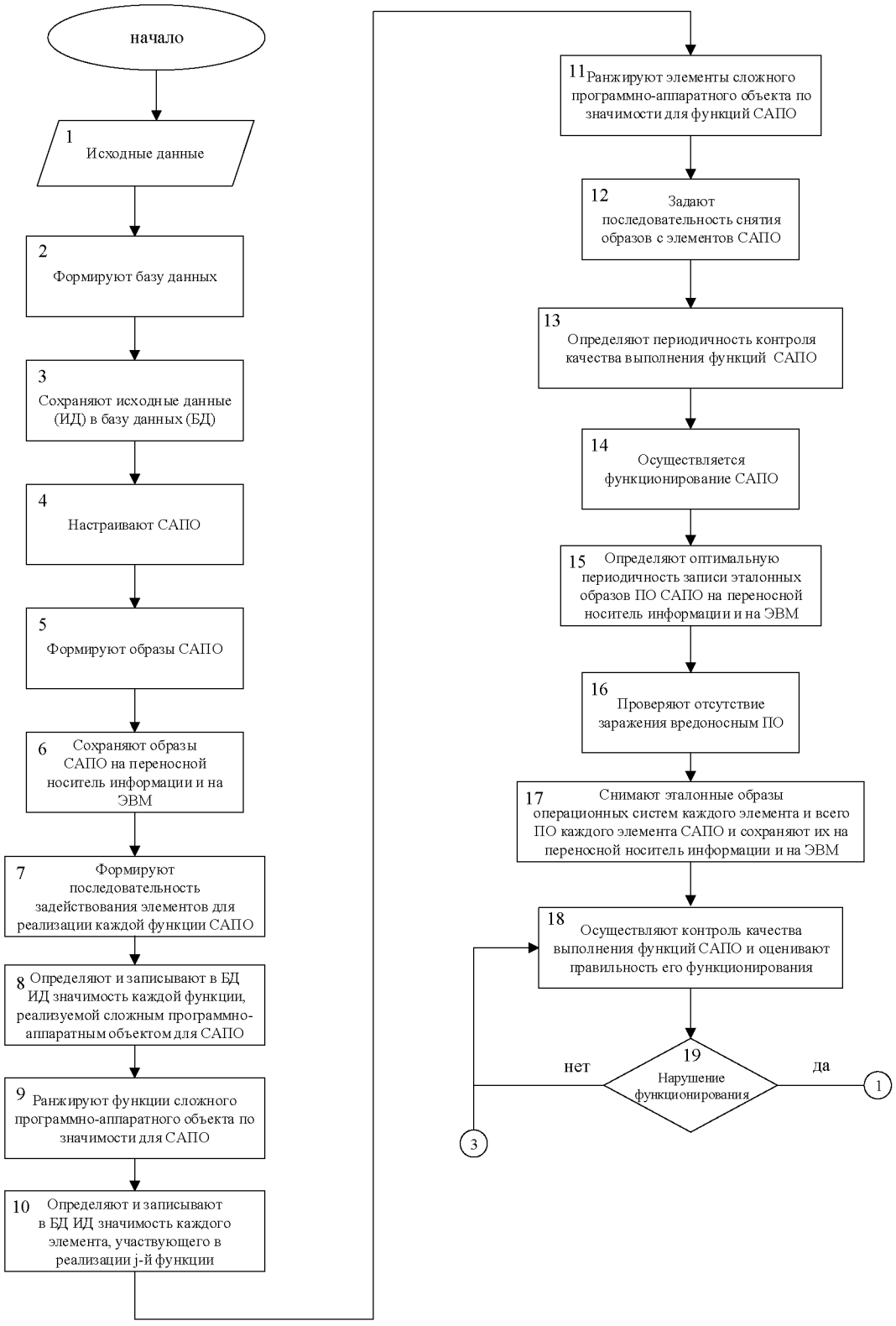



Рисунок 7.5 – Блок схема методики обеспечения устойчивого функционирования сложного программно-аппаратного объекта (начало)

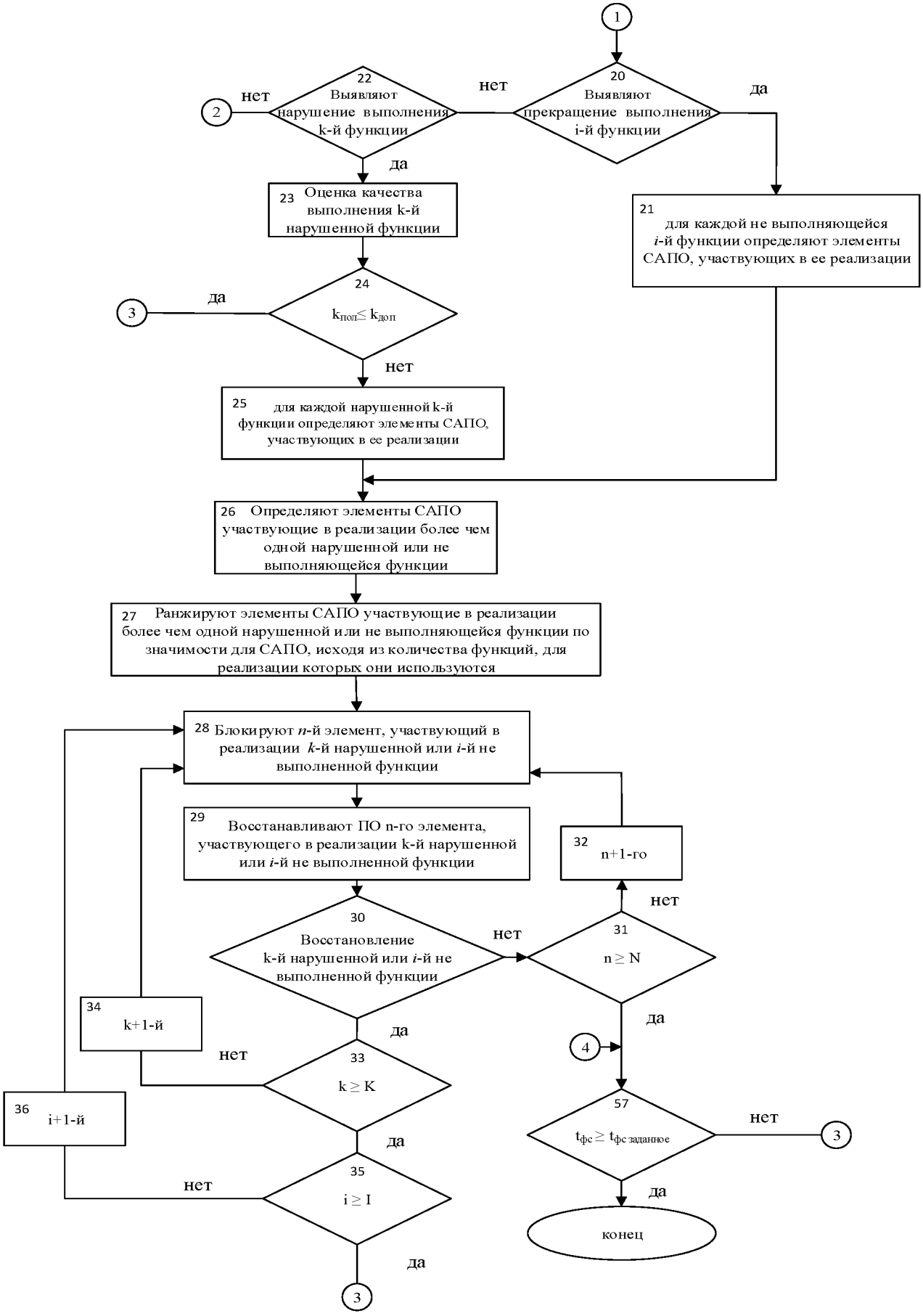



Рисунок 7.5 –. Блок схема методики обеспечения устойчивого функционирования сложного программно-аппаратного объекта (продолжение)

В блоке 12 на основе сформированной последовательности задействования элементов для реализации каждой функции САПО задают последовательность снятия образов с его элементов (эталонных значений ПО).

В блоке 13 определяют периодичность контроля качества выполнения функций САПО [437, 438].

В процессе функционирования системы (сети) связи и ее элементов, представляющих собой САПО, в блоке 15 определяют оптимальную периодичность записи эталонного образа с элементов САПО на переносной носитель информации и на ЭВМ. Перед записью эталонного образа с элементов САПО в блоке 16 проверяют отсутствие заражения вредоносным ПО эталонных образов элементов САПО, а после проверки и отсутствии вредоносного ПО в блоке 17 с определенной периодичностью и на основе заданной последовательности снимают эталонные образы всего ПО каждого элемента сложного программно-аппаратного объекта и сохраняют их в базу данных на переносной носитель информации и на ЭВМ.

Также в процессе функционирования системы (сети) связи в блоке 18 осуществляют контроль качества выполнения функций, путем измерения заданных параметров. В блоке 19 выявляют нарушение функционирования САПО, обусловленные воздействием вредоносного ПО на его программное обеспечение, для чего по прекращению выполнения функции САПО (блок 22), нарушению выполнения функции САПО (блок 23) и появлению новой функции САПО (блок 39) в блоке 20 выявляют функции сложного программно-аппаратного объекта, которые не выполняются, путем сравнения измеренных и заданных параметров, характеризующих выполнение каждой j-ой функции. В блоке 21 для каждой не выполняющейся i-й функции, $i = 1, 2, \ldots I$, где $I$ — количество не выполняющихся функции сложного программно-аппаратного объекта, определяют элементы сложного программно-аппаратного объекта, участвующие в ее реализации.

В блоке 22 выявляют нарушенные функции сложного программно-аппаратного объекта путем сравнения измеренных и заданных параметров, характеризующих выполнение каждой $j$-ой функции.

В блоке 23 оценивают качество выполнения нарушенной функции, для чего в блоке 24 сравнивают значения отклонения параметров качества каждой нарушенной функции, реализуемой в САПО, с заданным допустимым значением. Если значения отклонения параметров качества каждой функции, реализуемой в нем, меньше заданных допустимых, то продолжают контроль его функционирования, иначе для каждой нарушенной $k$-й функции определяют элементы САПО, участвующие в ее реализации (блок 25).

После этого в блоке 26 определяют элементы САПО, участвующие в реализации

более чем одной нарушенной или не выполняющейся функции и в блоке 27 ранжируют их по значимости для САПО, исходя из количества функций, для реализации которых они используются. В блоке 28 в зависимости от ранга последовательно блокируют, а в блоке 29 восстанавливают ПО таких элементов.

В блоке 30 проверяют восстановление функций, в реализации которых участвовали элементы у которых уже восстановлено ПО. Если функции не восстановлены, то переходят к восстановлению следующего элемента, их реализующего (блоки 31 и 32) и повторяют действия по восстановлению ПО.

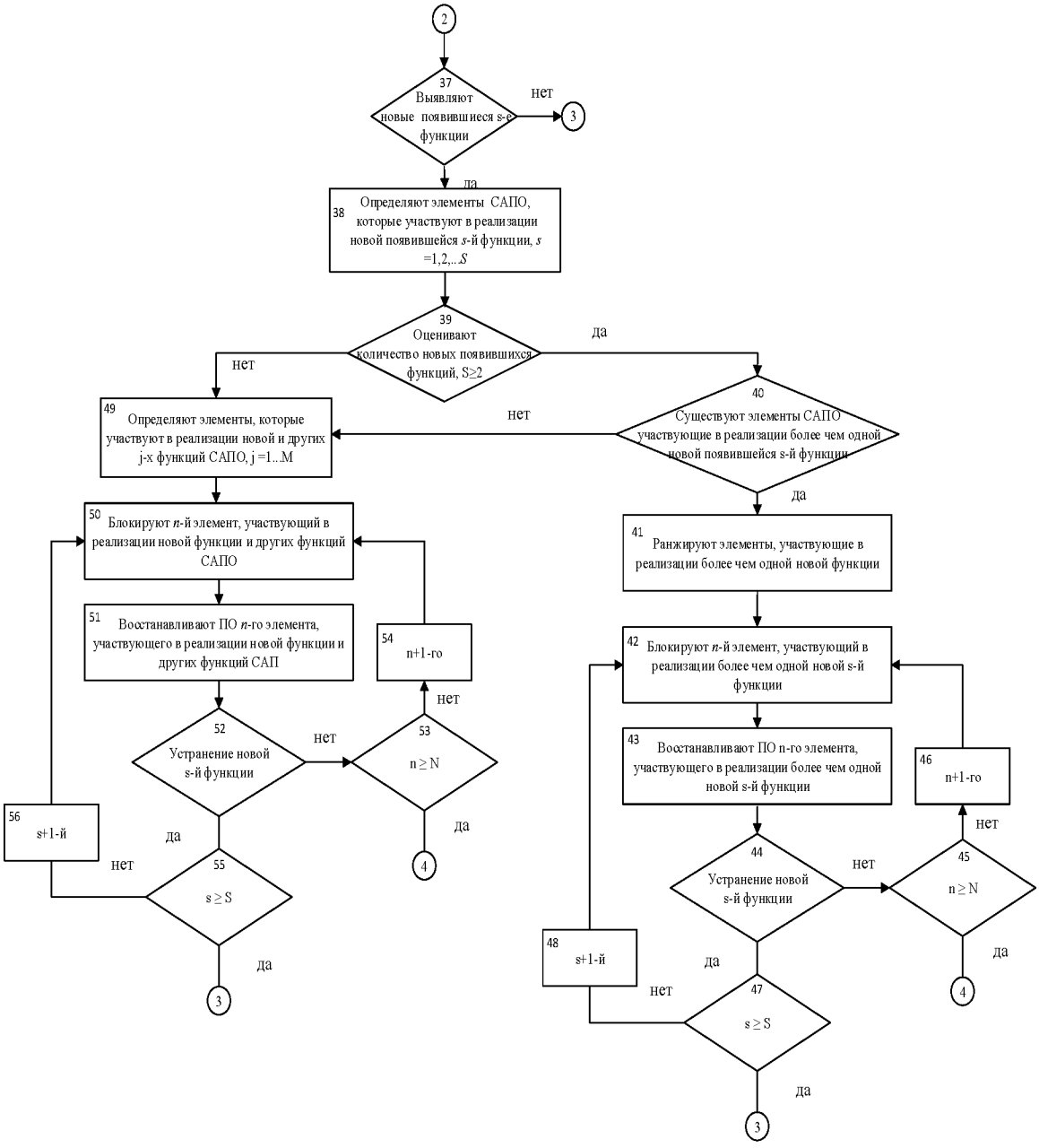



Рисунок 7.5 – Блок схема методики обеспечения устойчивого функционирования сложного программно-аппаратного объекта (окончание)

Если функция восстановлена, переходят к восстановлению следующей нарушенной

или не выполняющейся функции (блоки 33 и 34, 35 и 36).

Под восстановлением понимается перезагрузка ПО элемента САПО, использование предыдущей сохраненной копии ПО элемента или полная переустановка и настройка ПО элемента в соответствии с его задачами в САПО и функциями для реализации выполнения, которых он используется.

Если в процессе функционирования системы (сети) связи выявляют новые появившиеся функции САПО (блок 37), то в блоке 38 определяют элементы САПО, которые участвуют в реализации новой появившейся $s$-й функции, $s$ =1,2, ..., $S$.

В блоке 39 оценивают количество новых появившихся функций. При наличии только одной новой появившейся функции переходят к блоку 49. Если количество новых появившихся функций больше одной, то переходят к блоку 40.

В блоке 49 определяют элементы САПО, которые участвуют в реализации новой появившейся $s$-й функции, $s$ =1,2, ..., $S$, и других функций САПО.

В блоке 40, когда количество новых появившихся функций больше одной, проверяют наличие элементов САПО, участвующих в реализации более чем одной функции. Если таких элементов нет, то переходят к блоку 49. Если такие элементы есть, то к блоку 41.

В блоке 41 ранжируют элементы САПО, участвующие в реализации более чем одной новой функции, в зависимости от количества новых появившихся функций, в реализации которых они участвуют.

В блоках 42 и 50 в зависимости от ранга последовательно блокируют, а в блоках 43 и 51 восстанавливают ПО элементов, участвующих в реализации новых функций.

В блоках 44 и 52 проверяют устранение новых функций, в реализации которых участвовали элементы, у которых уже восстановлено ПО. Если функции не устранены, то переходят к следующему элементу, их реализующему (блоки 45 и 46, 53 и 54) и повторяют действия по восстановлению ПО.

Если функция устранена, переходят к устранению следующей новой появившейся функции (блоки 47 и 48, 55 и 56).

После восстановления всех нарушенных, не выполняющихся функций и устранения новых появившихся функций продолжают контроль качества выполнения функций.

Контроль, восстановление и обеспечение функционирования всех САПО в ИУС осуществляется в течении времени его функционирования (блок 57).

**Оценка эффективности**

Эффективность *своевременности* восстановления работоспособности САПО при нарушении его функционирования определяется возможностью выделения элементов

объекта, которые участвуют в выполнении одной или нескольких нарушенных функций, а также появившихся не декларированных функций с последующим восстановлением их ПО.

Известные способы обеспечения устойчивости функционирования сложных объектов [436-439] направлены на восстановление ПО всех элементов, входящих в состав такого объекта, при этом среднее время восстановления работоспособности объекта определяется как сумма времени переустановки программного обеспечения всех элементов САПО, времени настройки сложного программно-аппаратного объекта, времени ввода исходных данных, времени моделирования функционирования САПО, времени корректировки периодичности контроля, времени загрузки промежуточных результатов из базы данных и времени расчета:

$$T_{\text{вост раб1}} = \sum_{j=1}^{M}\sum_{i=1}^{N} t_{\text{ПО}ij} + t_{\text{настр}} + t_{\text{мод}} + t_{\text{кор}} + t_{\text{загр}} + t_{\text{расч}}.$$

Предложенный в методике подход позволяет сократить время восстановления работоспособности САПО [440, 441], в первую очередь, за счет ранжирования элементов, выявления элементов, участвующих в выполнении нескольких не декларируемых функций или декларируемых функций, которые нарушены или не выполняются. При этом, среднее время восстановления работоспособности САПО определяется как сумма времени выявления элементов, участвующих в реализации более двух функций, ранжировании их по значимости, времени восстановления (перезапуска ПО, переустановки ПО) программного обеспечения и времени расчета:

$$T_{\text{вост раб2}} = \sum_{j=1}^{M}\sum_{i=1}^{N} t_{\text{ПО}ij} + t_{\text{ранж}} + t_{\text{расч}}.$$

Вероятность своевременного восстановления работоспособности САПО $P_F(F_{\text{вып}} \geq F_{\text{треб}} | t_F \leq t_{F\,\text{треб}})$, определяется условием $t_F \leq t_{F\,\text{треб}}$ и численно определяется как коэффициент

$$K_F = \frac{\sum J_{\text{вып}}\left(t \middle| t_F \leq t_{F\,\text{треб}}\right)}{J},$$

где $J$ – общее количество выполненных САПО функций, $J_{\text{вып}}$ – количество выполненных функций в установленные сроки.

**Научная новизна методики** заключается в том, что в отличие от известных, разработанная методика позволяет:

повысить вероятность своевременного восстановления работоспособности САПО и обеспечить устойчивость его функционирования, т.е. выполнение им требуемого перечня функций, а также устойчивое функционирование ИУС;

устранять новые появляющиеся не декларируемые функции САПО в кратчайшие

сроки;

сократить время необходимое на восстановление функционирования САПО, обусловленного нарушение выполнения его функций, появлением новых не декларируемых функций.

Таким образом **эффект** методики определяется выявлением не выполняющихся, нарушенных и новых появившихся функций САПО ИУС, определением элементов, участвующих в реализации данных функций, выявлением элементов, участвующих в реализации двух и более функций и поэтапного восстановления ПО только элементов, участвующих в реализации не выполняющихся, нарушенных и новых появившихся функций САПО.

## 7.5. Устройство автоматизированного управления процессом проектирования и функционирования ИУС АН

Для уменьшения времени на проектирование и построение системы предлагается автоматизировать данный процесс. Анализ возможности системы выполнит возложенный на нее функционал производится на основе профиля функционирования системы. Использование профиля позволит определить перечень требуемых для построения системы ресурсов, а также какие задачи и функции необходимо выполнить в какие сроки [301, 302, 442, 443].

Система для проектирования сети связи [445] обладает недостаточными функциональными возможностями, которые не позволяют описать все процессы, происходящие в ней, и не может обеспечить осуществление процесса проектирования всей системы, а также не позволяют обеспечить эффективное и устойчивое функционирование системы.

Автоматизированная система управления нефтедобычей [421] не учитывает процесс функционирования системы, ее задачи и предназначение, а также способность системы его выполнять, т. е. не учитывает функциональные возможности системы, что не позволяет автоматизировано выполнять действия по формированию структуры самой системы и ее системы управления и обеспечивать ее устойчивое и эффективное функционирование.

В устройстве для его осуществления управлением процесса проектирования структуры системы управления техническими системами [446] осуществляется автоматизация только процесса формирования структуры системы управления, а не всей технической системы, недостаточный учет функциональных возможностей системы, обусловленный отсутствием учета задач, функций, целей системы, а также не эффективное

использование ресурсов системы, обеспечивающих ее функционирование и отсутствие возможности обеспечения устойчивого функционирования проектируемой системы.

Для решения задачи автоматизации процесса проектирования и функционирования ИУС предлагается устройство, структурная схема которого показана на рисунке 7.6, включающая следующие элементы:

1 - пульт управления,

2 - узел формирования структуры системы,

3 - узел моделирования режимов функционирования системы,

4 - блок обработки информации,

5 - блок сравнения,

6 - блок отображения информации,

7 - оптимизатор,

8 - задатчик входных характеристик,

9 - второй мультиплексор,

10 - формирователь задач управления ТС,

11 - анализатор допустимости задач управления ТС,

12 - запоминающее устройство задач ТС,

13 - формирователь функций управления ТС,

14 - анализатор допустимости функций управления ТС,

15 - блок задания последовательности выполнения,

16 - формирователь способов управления ТС,

17 - анализатор допустимости способов управления ТС,

18 - запоминающее устройство способов управления ТС,

19 - формирователь функций ТС,

20 - анализатор допустимости функций ТС,

21 - запоминающее устройство функций ТС,

22 - формирователь вариантов функциональной структуры ТС,

23 - анализатор допустимости вариантов функциональной структуры ТС,

24 - запоминающее устройство вариантов функциональной структуры ТС,

25 - формирователь вариантов организационной структуры ТС,

26 - анализатор допустимости вариантов организационной структуры ТС,

27 - запоминающее устройство вариантов организационной структуры ТС,

28 - формирователь вариантов организационно-функциональной структуры ТС,

29 - анализатор допустимости вариантов организационно-функциональной структуры ТС;

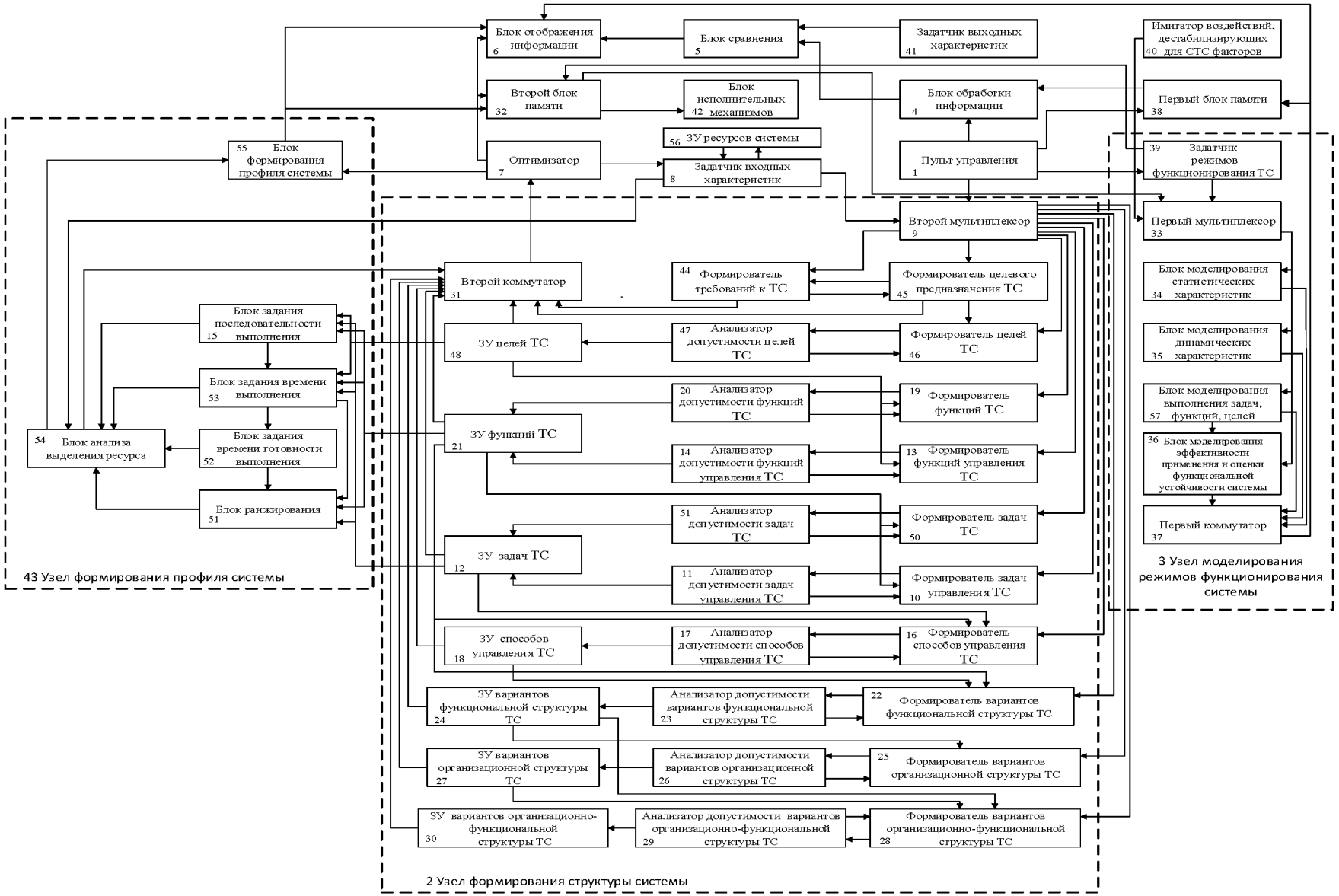



Рис. 7.6 – Структурная схема устройства функционирования сложной технической системы

30 - запоминающее устройство вариантов организационно-функциональной структуры ТС,

31 - второй коммутатор,

32 - второй блок памяти,

33 - первый мультиплексор,

34 - блок моделирования статических характеристик,

35 - блок моделирования динамических характеристик,

36 - блок моделирования эффективности применения и оценки функциональной устойчивости системы,

37 - первый коммутатор,

38 - первый блок памяти,

39 - задатчик режимов функционирования ТС,

40 - имитатор воздействий, дестабилизирующих для СТС факторов,

41 - задатчик выходных характеристик,

42 - блок исполнительных механизмов,

43 - узел формирования профиля системы,

44 – формирователь требований к ТС,

45 – формирователь целевого предназначения ТС (главной цели СТС),

46 – формирователь целей ТС,

47 – анализатор допустимости целей ТС,

48 – запоминающее устройство целей ТС,

49 – формирователь задач ТС,

50 – анализатор допустимости задач ТС,

51 – блок ранжирования,

52 - блок задания времени готовности выполнения,

53 – блок задания времени выполнения,

54 – блок анализа выделения ресурса,

55 – блок формирования профиля системы,

56 – запоминающее устройство ресурсов системы,

57 – блок моделирования выполнения задач, функций, целей.

Устройство автоматизированного управления процессом проектирования и функционирования сложной технической системы, содержит узел формирования структуры системы 2, узел моделирования режимов функционирования системы 3, узел формирования профиля системы 43, пульт управления 1, первый выход которого через последовательно соединенные первый блок памяти 38, блок обработки информации 4 и

блок сравнения 5 подключен к первому входу блока отображения информации 6, второй выход через последовательно соединенные задатчик режимов функционирования ТС 39 и первый мультиплексор 33 - к входам блоков моделирования 34, 35, 36, 57 соединенных выходами через первый коммутатор 37 со вторым входом блока отображения информации 6 и со вторым входом первого блока памяти 38, третий выход пульта управления - к второму входу блока обработки информации 4, четвертый выход пульта управления 1 соединен с вторым мультиплексором, задатчик входных характеристик 8, предоставляющий информацию через второй мультиплексор на узел формирования структуры системы 2 для формирователя требований к ТС 44, формирователя целевого предназначения ТС 45, формирователя целей ТС 46, формирователя функций ТС 19, формирователя функций управления ТС 13, формирователя задач ТС 50, формирователя задач управления ТС 10, формирователя способов управления ТС 16, формирователя вариантов функциональной структуры ТС 22, формирователя вариантов организационной структуры ТС 25, формирователя вариантов организационно-функциональной структуры ТС 28, вход и выход задатчика входных характеристик 8 соединен с ЗУ ресурсов системы 56, третий выход с узлом формирования профиля системы через блок анализа выделения ресурсов 54, который через блок формирования профиля системы 55 соединен с блоком отображения информации 6, а через второй коммутатор 31 и оптимизатор 7 с блоками формирования профиля системы 55 и задатчиком входных характеристик 8. Задатчик режимов функционирования ТС 39 соединен с входом второго блока памяти 32, первый выход которого соединен с блоком исполнительных механизмов 42, а второй выход с третьим входом первого мультиплексора 33, задатчик выходных характеристик 41, соединенный выходом со вторым входом блока сравнения 5, имитатор воздействий дестабилизирующих для СТС факторов 40, подключенный выходом к второму входу первого мультиплексора 33, и оптимизатор 7, выход которого соединен с третьим входом блока отображения информации 6 и первым входом второго блока памяти 32, последовательно соединенные формирователь целевого предназначения ТС 45, выход и вход которого соединен с формирователем требований к ТС 44, первый выход соединен с формирователем целей ТС 46, второй выход с вторым коммутатором 31, формирователь требований к ТС, второй выход которого соединен с вторым коммутатором 31, формирователь целей системы 46, вход и выход которых соединены с анализатором допустимости целей системы 47, анализатором допустимости целей ТС 47 второй выход которого соединен с запоминающим устройством целей ТС 48, ЗУ целей системы ТС 48, первый выход которого соединен со вторым коммутатором 31, а второй выход с блоком задания времени выполнения 53 и блоком задания последовательности выполнения 15, третий выход

соединен с формирователями функций ТС 19 и функций управления ТС 13, формирователь функций ТС 19, второй вход и выход которого соединены с анализатором допустимости функций ТС 20, анализатор допустимости функций ТС 20, второй выход которого соединен с запоминающим устройством функций ТС 21, ЗУ функций ТС 21 второй вход которого соединен с анализатором допустимости функций управления ТС 14, первый выход соединен со вторым коммутатором 31, второй выход с блоком формирования способов управления ТС 16 и формирователем вариантов функциональной структуры ТС 22, третий выход с блоками формирования задач ТС 50 и задач управления ТС 10, четвертый выход с блоком задания времени выполнения 53, блоком ранжирования 51 и блоком задания последовательности выполнения 15, формирователь функций управления ТС 13, вход и выход которого соединены с анализатором допустимости функций управления ТС 14, формирователь задач ТС 50, второй вход и выход которого соединены с анализатором допустимости задач ТС 51, анализатор допустимости задач ТС 51, второй выход которого соединен с ЗУ задач ТС 12, ЗУ задач ТС 12, второй вход которого соединен с анализатором допустимости задач управления ТС 11, первый выход соединен со вторым коммутатором 31, второй выход соединен с блоком задания времени выполнения 53, блоком ранжирования 52 и блоком задания последовательности выполнения 15, третий соединен с формирователем способов управления ТС 16, формирователь задач управления ТС 10, вход и выход которого соединены с анализатором допустимости задач управления ТС 11, формирователь способов управления ТС 16, вход и выход которого соединены с анализатором допустимости способов управления ТС 17, второй выход которого соединен с входом запоминающего устройства способов управления ТС 18, первый выход которого соединен с входом формирователя вариантов функциональной структуры ТС 22, второй выход которого соединен с входом второго коммутатора 31, последовательно соединенные формирователь вариантов функциональной структуры ТС 22, выход и вход которого соединены с анализатором допустимости вариантов функциональной структуры ТС 23, второй выход которого соединен с входом запоминающего устройства вариантов функциональной структуры ТС 24, запоминающее устройство вариантов функциональной структуры ТС 24, третий выход которого соединен с входом второго коммутатора 31, первый выход которого соединен с формирователем вариантов организационно-функциональной структуры ТС 28, второй выход которого соединен с формирователем вариантов организационной структуры ТС 25, формирователь вариантов организационной структуры ТС 25, вход и выход которого соединен с анализатором допустимости вариантов организационной структуры ТС 26, запоминающее устройство вариантов организационной структуры ТС 27, второй выход которого соединен с входом второго коммутатора 31,

первый вход с анализатором допустимости вариантов организационной структуры ТС 26, формирователь вариантов организационно-функциональной структуры ТС 28, вход которого соединен с ЗУ вариантов организационной структуры ТС 27, четвертый вход и выход с анализатором допустимости вариантов организационно-функциональной структуры ТС 29, второй выход которого соединен с запоминающим устройством вариантов организационно-функциональной структуры ТС 30, запоминающее устройство вариантов организационно-функциональной структуры ТС 30, выход которого соединен со вторым коммутатором 31, дополнительно вводится узел формирования профиля системы 43, включающий блок задания времени выполнения 53, первый выход которого соединен с блоком ранжирования 51, второй выход соединен с блоком анализа выделения ресурса 54, третий выход соединен с блоком задания времени готовности выполнения 52, четвертый вход с блоком задания последовательности выполнения 15, блок задания последовательности выполнения 15, выход которого соединен с блоком анализа выделения ресурса 54, блок задания времени готовности выполнения 52, первый выход которого соединен с блоком анализа выделения ресурса 54, а второй выход с блоком ранжирования 51, блок ранжирования 51, выход которого соединен с блоком анализа выделения ресурса 54, блок анализа выделения ресурса 54 первый выход которого соединен со вторым коммутатором 31, второй выход соединен с блоком формирования профиля системы 55, четвертый вход соединен с задатчиком входных характеристик, блок формирования профиля системы 55 первый вход которого соединен с оптимизатором 7, а выход соединен с вторым блоком памяти 32 для запоминания профиля системы и блоком отображения информации 6.

Таким образом, представленное устройство позволяет автоматизировать управление процессом проектирования и функционирования ИУС и повысить качество и эффективность проектирования системы, за счет построения профиля ее функционирования, учитывающего функциональные возможности системы, т. е. цели, функции, задачи выполняемые системой и позволяющего оптимизировать использование ресурсов системы для обеспечения ее функционирования, а также повысить эффективность и устойчивость функционирования, за счет проверки и резервирования ресурсного обеспечения выполнения задач системы.

## 7.6. Способ автоматизированного управления процессом проектирования и функционирования ИУС

Предлагаемый способ относится к области автоматизированного управления

сложными техническими системами и может применяться при проектировании сложных функционально-динамических систем (объектов), включающих большое количество элементов и выполняющих множество задач, функций, целей, таких как системы связи, системы управления, информационные системы, системы защиты и т. д. Вопрос автоматизации процессов построения и функционирования различных систем исследуется давно.

В способе проектирования трехмерной сети связи [445] выполняются следующие действия: формирование трехмерной модели базы данных окружающей физической среды, в которой осуществлена или будет осуществлена сеть связи; выбор данных, представляющих элементы для использования в сети связи, которые включают рабочие характеристики и данные стоимости, причем дополнительно создают список материалов, основанный на информации стоимости оборудования или стоимости монтажа, или обслуживания, связанной с элементами, выбранными на стадии выбора данных; выбор месторасположения элементов в трехмерной модели базы данных окружающей среды; прогнозирование, отображение или хранение значений рабочих характеристик в одной или нескольких точках в трехмерной модели базы данных окружающей среды; отображение или хранение местоположений элементов в трех измерениях в трехмерной модели базы данных окружающей среды с последующим использованием информации о местоположении для проектирования трехмерной сети связи. Недостатком способа является недостаточный учет функциональных возможностей сети, который не позволяет описать все процессы, происходящие в ней, и не может обеспечить осуществление процесса проектирования всей системы, а также не позволяет обеспечить эффективное и устойчивое функционирование системы.

В способе построения автоматизированной системой управления нефтедобычей Способ [421] не учитывает процесс функционирования системы, ее задачи и предназначение, а также способность системы его выполнять, т. е. не учитывает функциональные возможности системы, что не позволяет автоматизировано выполнять действия по формированию структуры самой системы и ее системы управления и обеспечивать ее устойчивое и эффективное функционирование.

Способ [446] позволяет автоматизировано выполнять действия по формированию структуры системы управления техническими системами. Его недостатком является автоматизация только процесса формирования структуры системы управления, а не всей технической системы, недостаточный учет функциональных возможностей системы,

обусловленный отсутствием учета задач, функций, целей системы, а также не эффективное использование ресурсов системы, обеспечивающих ее функционирование и отсутствие возможности обеспечения устойчивого функционирования проектируемой системы.

## Методика автоматизированного управления процессом проектирования и функционирования ИУС

Сложные технические системы, определяемые как совокупность большого количества взаимосвязанных элементов и процессов, тяжело поддаются исследованию. Это обусловлено необходимостью учета большого количества элементов и процессов в системе. При проектировании системы необходимо учитывать все процессы, элементы системы и их взаимодействие. В процессе функционирования системы наряду с этим возникает потребность, в первую очередь, у лиц, эксплуатирующих и отвечающих за функционирование системы в ее устойчивом и непрерывном функционировании. Таким образом возникает противоречие между возникающими трудностями при проектирован и построения системы, учете в процессе функционирования ее всех процессов, а также потребностями в обеспечении устойчивого и непрерывного функционирования системы.

Данное противоречие обуславливает существование актуальной **научной задачи**, заключающейся в автоматизации управления процессом проектирования, построения и функционирования ИУС с целью повышения устойчивости ее функционирования.

**Суть методики** заключается в определении цели функционирования ИУС, формировании профиля функционирования системы, определении элементов профиля и формирования вариантов обеспечения их выполнения.

**Показателем эффективности** является полнота формирования профиля функционирования ИУС, позволяющего выполнить целевое предназначение системы при проектировании и построении ИУС, а также вероятность своевременного выполнения требуемого профиля функционирования ИУС $P_F(F_{\text{вып}} \geq F_{\text{треб}} | t_F \leq t_{\text{треб}})$, на требуемом временном интервале $t_{\text{треб}}$ в процессе его функционирования.

Принято **допущение**: память базы данных, предназначенной для хранения элементов профиля функционирования и его элементов достаточно для хранения, требуемого объема данных, характеризующих ее функционировании.

**Исходными данными** в методике являются:

состав ИУС, включающий $G$ узлов и $L$ линий, и структура в виде графа $R = (G, L)$;

профиль функционирования ИУС, определяемый целевым предназначением системы, совокупностью целей, требований, функций, задачи ресурсов системы;

время начала и длительность выполнения каждой задачи ТС;

время начала и длительность выполнения каждой функции ТС;

время начала и длительность выполнения каждой цели ТС;

время начала и длительность интервала проверки готовности к выполнению каждой задачи ТС;

время начала и длительность интервала проверки готовности выполнению каждой функции ТС;

время начала и длительность интервала проверки готовности к выполнению каждой цели ТС;

требования к процессу функционирования ИУС и характеризующие качество и сроки выполнения ее функций.

**Критерием** показатель функциональной устойчивости, определяемый как отношение своевременно выполненных элементов профиля функционирования ИУС к требуемому к выполнению количеству элементов профиля функционирования;

вероятность своевременного выполнения требуемого ПФС ИУС.

**Используемые методы:** методы теории графов; методы теории вероятности, методы теории множеств.

**Описание методики**

Рассмотрим работу методики, основные элементы которой представлены блок-схемой (рис. 7.7).

Предварительно формируют базу данных во втором блоке памяти, куда в дальнейшем будет записываться информация о формируемом профиле, результатах моделирования, соответствии параметров, оценки устойчивости функционирования и структуре, проектируемой ИУС.

Формируют на пульте управления команду на формирование профиля функционирования сложной ТС и передают ее на узел формирования структуры системы (блок 4а рис. 7.7). Формируют профиль функционирования ИУС (блок 5а рис. 7.7), для чего с пульта управления запускается второй мультиплексор, информация о состоянии ресурсной базы из ЗУ ресурсов системы поступает в задатчик входных характеристик, после чего информация с задатчика входных характеристик через второй мультиплексор с его выходов поступает на вход формирователя требований к системе (блок 7а рис. 7.7), где формируют и запоминают заданные к ней требования, и на вход формирователя целевого предназначения ТС (блок 6а рис. 7.7), где формируют и запоминают целевое предназначение ИУС.

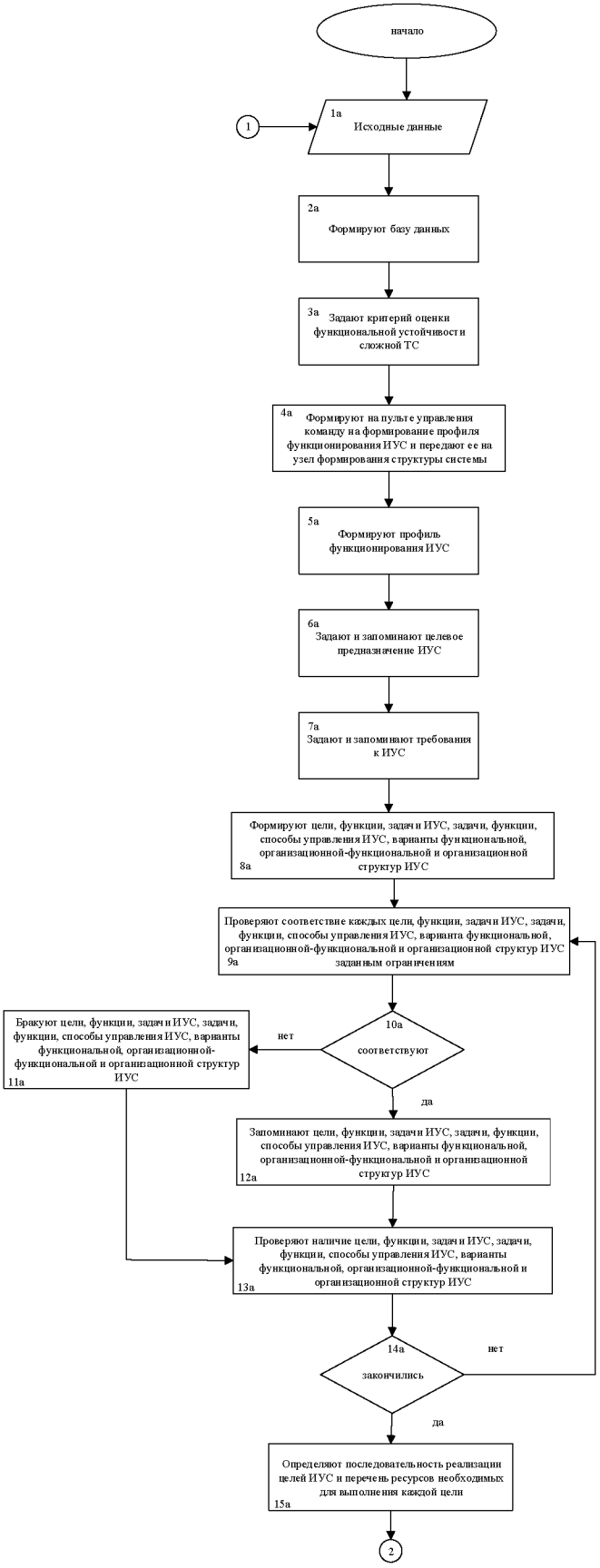



Рисунок 7.7 – Блок схема методики автоматизированного управления процессом проектирования и функционирования ИУС (начало)

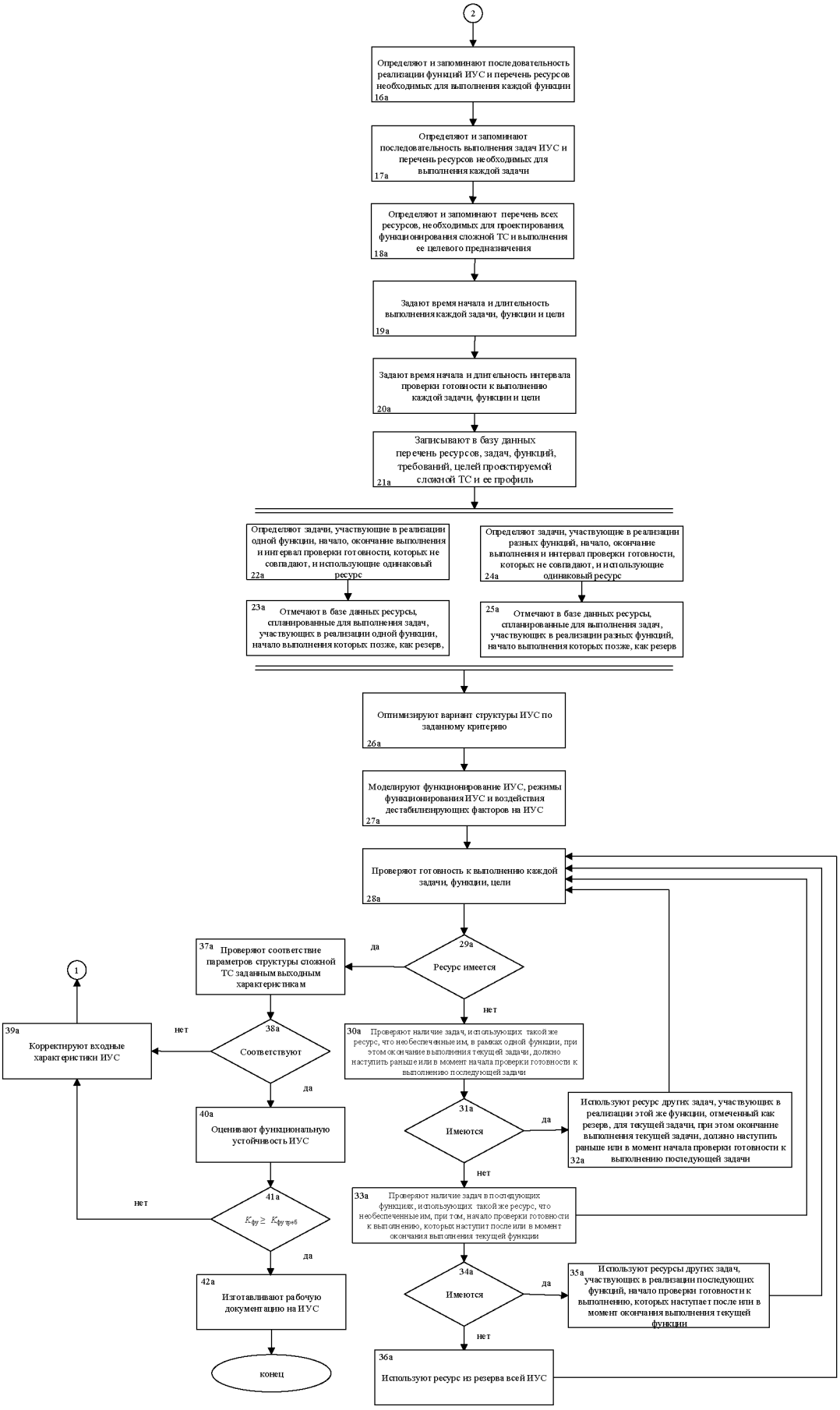



Рис 7.7 – Блок схема методики автоматизированного управления процессом проектирования и функционирования ИУС (окончание)

Информация с формирователя целевого предназначения ТС 45 поступает на формирователь требований к ТС. Информация о соответствии целевого предназначения ТС требованиям, предъявляемым к ТС, поступает с выхода формирователя требований к ТС на вход формирователя целевого предназначения ТС, для согласования требований системы и ее целевого предназначения. С выхода формирователя целевого предназначения ТС информация о параметрах целевого предназначения ТС поступает на вход формирователя целей ТС, в котором формируют цели ИУС (блок 8а рис. 7.7), выполнение которых позволит обеспечить выполнение целевого предназначения ИУС. Информация о параметрах сформированных целей ТС с выхода формирователя целей ТС поступает на вход анализатора допустимости целей ТС (блок 9а рис. 7.7), который определяет соответствие параметров целей ТС заданным ограничениям (блок 10а рис. 7.7). В случае обнаружения несоответствия параметров ограничениям сформированная цель ИУС бракуется (блок 11а рис. 7.7) и с первого выхода анализатора допустимости выдается команда на третий вход формирователя целей ТС на формирование очередной цели ИУС.

В блоке 13а-14а рис. 7.7 осуществляется последовательное формирование всех возможных целей ТС, достижение которых позволит обеспечить выполнение целевого предназначения ИУС, а цели ИУС, параметры которых удовлетворяют заданным ограничениям, с выхода анализатора допустимости целей ТС записываются в запоминающее устройство целей ТС (блок 12а рис. 7.7).

Аналогично на рис. 7.7 в блоках 8а-14а выполняют действия для функций, задач ИУС, задач, функций, способов управления ИУС, вариантов функциональной, организационной-функциональной и организационной структур ИУС.

Формирователь функций ТС осуществляет последовательное считывание информации о сформированных целях ТС из запоминающего устройства целей ТС, а также считывание исходных данных из задатчика входных характеристик через второй мультиплексор с его восьмого выхода на свой первый вход. С выхода формирователя функций ТС, в котором формируют функции ТС, информация о параметрах функций ТС поступает на вход анализатора допустимости функций ТС, который определяет соответствие параметров функции ТС заданным ограничениям. В случае обнаружения несоответствия параметров ограничениям сформированная функция ТС бракуется и с первого выхода анализатора допустимости выдается команда на вход формирователя функций ТС на формирование очередной возможной функции ТС. При этом осуществляется последовательное формирование всех возможных функций ТС для каждой допустимой цели ТС, а функции ТС, параметры которых удовлетворяют заданным ограничениям, с выхода анализатора допустимости функций ТС записываются в

запоминающее устройство функций ТС.

Формирователь функций управления ТС осуществляет последовательное считывание информации о сформированных целях ТС из запоминающего устройства целей ТС, считывание исходных данных из задатчика входных характеристик через второй мультиплексор с его седьмого выхода на свой вход. С выхода формирователя функций управления ТС, в котором формируют функции управления СТС, информация о параметрах функции управления ТС поступает на вход анализатора допустимости функций управления ТС, который определяет соответствие параметров функции управления ТС заданным ограничениям. В случае обнаружения несоответствия параметров ограничениям сформированная функция управления ТС бракуется и с первого выхода анализатора допустимости выдается команда на вход формирователя функций управления ТС на формирование очередной возможной функции управления ТС. При этом осуществляется последовательное формирование всех возможных функций управления ТС для каждой допустимой цели ТС, а функции управления ТС, параметры которых удовлетворяют заданным ограничениям, с второго выхода анализатора допустимости функций управления ТС записываются в запоминающее устройство функций ТС.

Формирователь задач ТС осуществляет последовательное считывание информации о сформированных функциях ТС из запоминающего устройства функций ТС, считывание исходных данных из задатчика входных характеристик 8 через второй мультиплексор с его шестого выхода на свой первый вход. С выхода формирователя задач ТС, в котором формируют задачи ТС, информация о параметрах задачи ТС поступает на вход анализатора допустимости задач ТС, который определяет соответствие параметров задач ТС заданным ограничениям. В случае обнаружения несоответствия параметров ограничениям сформированная задача ТС бракуется и с первого выхода анализатора допустимости выдается команда на второй вход формирователя задач ТС на формирование очередной задачи ТС. При этом осуществляется последовательное формирование всех возможных задач ТС, а задачи ТС, параметры которых удовлетворяют заданным ограничениям, с выхода анализатора допустимости задач ТС записываются в запоминающее устройство задач ТС.

Формирователь задач управления ТС осуществляет последовательное считывание информации о сформированных функциях ТС из запоминающего устройства функций ТС, считывание исходных данных из задатчика входных характеристик через второй мультиплексор с его пятого выхода на свой первый вход. С выхода формирователя задач управления ТС, в котором формируют задачи управления ТС, информация о параметрах задачи управления ТС поступает на вход анализатора допустимости задач управления ТС,

который определяет соответствие параметров задач управления ТС заданным ограничениям. В случае обнаружения несоответствия параметров ограничениям сформированная задача управления ТС бракуется и с первого выхода анализатора допустимости управления, выдается команда на второй вход формирователя задач управления ТС на формирование очередной задачи управления ТС. При этом осуществляется последовательное формирование всех возможных задач управления ТС, а задачи управления ТС, параметры которых удовлетворяют заданным ограничениям, с второго выхода анализатора допустимости задач управления ТС записываются в запоминающее устройство задач ТС.

Формирователь способов управления ТС осуществляет последовательное считывание информации о сформированных задачах ТС из запоминающего устройства задач ТС с его третьего выхода на свой вход, последовательное считывание информации о сформированных функциях ТС из запоминающего устройства функций ТС, считывание исходных данных из задатчика входных характеристик через второй мультиплексор с его четвертого выхода на свой первый вход. С выхода формирователя способов управления ТС, в котором формируют способы управления ТС, информация о параметрах способа управления ТС поступает на вход анализатора допустимости способов управления ТС, который определяет соответствие параметров способа управления ТС заданным ограничениям. В случае обнаружения несоответствия параметров ограничениям сформированный способ управления ТС бракуется и с первого выхода анализатора допустимости выдается команда на второй вход формирователя способов управления ТС на формирование очередного возможного способа управления ТС. При этом осуществляется последовательное формирование всех возможных способов управления ТС для каждой задачи ТС и функции ТС, а способы управления ТС, параметры которых удовлетворяют заданным ограничениям, с выхода анализатора допустимости способов управления ТС записываются в запоминающее устройство способов управления ТС.

Формирователь вариантов функциональной структуры ТС осуществляет последовательное считывание информации о сформированных функциях ТС из запоминающего устройства функций ТС, информации о сформированных способах управления ТС из запоминающего устройства способов управления ТС и считывание исходных данных из задатчика входных характеристик через второй мультиплексор. С выхода формирователя вариантов функциональной структуры ТС, в котором формируют варианты функциональной структуры ТС, информация о параметрах функциональной структуры ТС поступает на вход анализатора допустимости вариантов функциональной структуры ТС, который определяет соответствие параметров функциональной структуры

ТС заданным ограничениям. В случае обнаружения несоответствия параметров ограничениям сформированный вариант функциональной структуры бракуется и с первого выхода анализатора допустимости выдается команда на второй вход формирователя вариантов на формирование очередного возможного варианта функциональной структуры ТС. При этом осуществляется последовательное формирование всех возможных вариантов функциональной структуры ТС для каждой функции ТС и способа управления ТС, а варианты, параметры которых удовлетворяют заданным ограничениям, с выхода анализатора допустимости записываются в запоминающее устройство вариантов функциональной структуры ТС.

Формирователь вариантов организационной структуры ТС осуществляет последовательное считывание информации о сформированных допустимых вариантах функциональной структуры ТС из запоминающего устройства вариантов функциональной структуры ТС, считывание исходных данных из задатчика входных характеристик через второй мультиплексор. С выхода формирователя вариантов организационной структуры ТС, в котором формируют варианты организационной структуры ТС, информация о параметрах организационной структуры ТС поступает на вход анализатора допустимости вариантов организационной структуры ТС, который определяет соответствие параметров организационной структуры ТС заданным ограничениям. В случае обнаружения несоответствия параметров ограничениям сформированный вариант организационной структуры ИУС бракуется и с первого выхода анализатора допустимости выдается команда на второй вход формирователя вариантов организационной структуры ТС на формирование очередного возможного варианта организационной структуры ТС. При этом осуществляется последовательное формирование всех возможных вариантов организационной структуры для каждого допустимого варианта функциональной структуры, а варианты, параметры которых удовлетворяют заданным ограничениям, с выхода анализатора допустимости записываются в запоминающее устройство вариантов организационной структуры ТС.

Формирователь вариантов организационно-функциональной структуры ТС осуществляет последовательное считывание информации о сформированных допустимых вариантах функциональной структуры ТС, последовательное считывание информации о сформированных допустимых вариантах организационной структуры ТС из запоминающего устройства вариантов организационной структуры ТС, считывание исходных данных из задатчика входных характеристик 8 через второй мультиплексор. С выхода формирователя вариантов организационно-функциональной структуры ТС, в котором формируют варианты организационно-функциональной структуры ИУС,

информация о параметрах организационно-функциональной структуры ТС поступает на вход анализатора допустимости вариантов организационно- функциональной структуры ТС, который определяет соответствие параметров организационно-функциональной структуры ТС заданным ограничениям. В случае обнаружения несоответствия параметров ограничениям сформированный вариант бракуется и с первого выхода анализатора допустимости выдается команда на второй вход формирователя вариантов организационно-функциональной структуры ТС на формирование очередного возможного варианта организационно-функциональной структуры ТС. При этом осуществляется последовательное формирование всех возможных вариантов организационно-функциональной структуры для всех допустимых вариантов функциональной и организационной структуры ТС, а варианты, параметры которых удовлетворяют заданным ограничениям, с выхода анализатора допустимости записываются в запоминающее устройство вариантов организационно-функциональной структуры ТС.

Второй коммутатор передает информацию с узла формирования структуры системы на оптимизатор, который, используя информацию полученную с блока анализа выделения ресурса о необходимом ресурсном обеспечении задач, функций, целей ТС, а также параметры, полученные в формирователях и хранящиеся в запоминающих устройствах по заданному критерию оптимизирует вариант структуры сложной ТС (блок 26а рис. 7.7), и оптимальные параметры структур ТС передает во второй блок памяти, где записывают в базу данных перечень ресурсов, задач, функций, требований, целей проектируемой сложной ТС и ее профиль (блок 21а рис. 7.7), а также в блок отображения информации для визуального контроля, задатчик входных характеристик, для предоставления информации о структуре проектируемой ТС и анализа выделения необходимого ресурса с ЗУ ресурсов системы, с дальнейшей передачей информации о ресурсах системы в блок анализа выделения ресурса, и блок формирования профиля системы, где структура проектируемой ТС соотносится с профилем функционирования проектируемой ТС.

Управление выбором параметров и характеристик вариантов структуры ТС из второго блока памяти для узла моделирования режимов функционирования осуществляется от задатчика режимов функционирования ТС по команде с пульта управления. Параметры структуры системы управления со второго выхода второго блока памяти поступают на третий вход первого мультиплексора, на второй вход которого поступают сигналы с имитатора воздействий дестабилизирующих для ТС факторов (блок 27а рис. 7.7), имитирующие воздействие различных дестабилизирующих факторов, воздействующих на сложную ТС в процессе их функционирования, на вход мультиплексора с задатчика режимов функционирования ТС поступает команда о выборе соответствующего блока

моделирования (блок 27а рис. 7.7).

На узел формирования профиля системы с узла формирования структуры системы поступает информация, хранящаяся в запоминающих устройствах, на блок задания последовательности выполнения, в котором осуществляется определение последовательности реализации и выполнения целей, функций, задач ТС, выполнение которых позволяет выполнить ее целевое предназначение (блоки 16а-17а рис. 7.7) [447], блок задания времени выполнения, в котором осуществляется задание времени начала и длительность выполнения каждой цели, функции и задачи (блок 19а рис. 7.7), блок задания времени готовности выполнения, в котором осуществляется задание времени начала и длительность интервала проверки готовности к выполнению каждой цели, функции и задачи (блок 20а рис. 7.7), и блок ранжирования, в котором осуществляется ранжирование задач, реализующих каждую функцию по степени важности для нее, а также ранжирование целей, функций и задач по значимости для ТС [417]. Информация о последовательности выполнения целей, функций и задач ТС с блока задания последовательности выполнения поступает на блок анализа выделения ресурса и блок задания времени выполнения. Информация об интервалах, последовательности и длительности выполнения целей, функций и задач ТС поступает с блока задания времени готовности выполнения, где для каждой цели функции и задачи задается интервал готовности их выполнения, и поступает на блок анализа выделения ресурса. Информация об интервалах, последовательности и длительности выполнения каждой цели, функции и задачи ТС, а также о времени готовности их к выполнению, поступает на вход блока ранжирования и блок анализа выделения ресурса. Информация с блока ранжирования поступает в блок анализа выделения ресурса, в котором выделяют и запоминают перечень ресурсов ИУС, необходимых для выполнения каждых задачи, функции, цели, а также для обеспечения функционирования всей СТС (блоки 16а-18а рис. 7.7) [79], определяют задачи, участвующие в реализации одной функции, начало, окончание выполнения и интервал проверки готовности, которых не совпадают, и использующие одинаковый ресурс (блоки 22а рис. 7.7), определяют задачи, участвующие в реализации разных функций, начало, окончание выполнения и интервал проверки готовности, которых не совпадают, и использующие одинаковый ресурс (блоки 24а рис. 7.7) [426],

отмечают в базе данных ресурсы, спланированные для выполнения задач, участвующих в реализации одной функции, начало выполнения которых позже, как резерв (блоки 23а рис. 7.7), отмечают в базе данных ресурсы, спланированные для выполнения задач, участвующих в реализации разных функций, начало выполнения которых позже, как резерв (блоки 25а рис. 7.7), а также проверяют готовность к выполнению каждой задачи, функции, цели и осуществляется процесс резервирования ресурсами (блоки 28а-36а рис. 7.7), для чего в случае недостаточного количества или отсутствия ресурса, выделенного для выполнения текущей задачи, участвующей в реализации функции, используют ресурс других задач, участвующих в реализации этой же функции, отмеченный как резерв, сначала для выполнения задачи, начало выполнения которой раньше, потом для выполнения задачи, начало выполнения которой позже, при этом окончание выполнения текущей задачи, должно наступить раньше или в момент начала проверки готовности к выполнению последующей задачи, в случае недостаточного количества или отсутствия ресурса, выделенного для выполнения задач, участвующих в реализации текущей функции, используют ресурсы других задач, участвующих в реализации последующих функций, начало проверки готовности к выполнению, которых наступит после или в момент окончания выполнения текущей функции, в случае недостаточного количества или отсутствия ресурса, выделенного для выполнения задач, участвующих в реализации текущей функции, а также отсутствия возможности использовать ресурсы, выделенные для выполнения задач в рамках одной функции и последующих функций, используют ресурс из резерва всей ТС, после выполнения задачи освободившийся ресурс отмечают как резерв и используют его в качестве резерва всей ТС при выполнении последующих задач, функций и целей, как показано на рис. 7.7, используя информацию о последовательности выполнения задач для обеспечения выполнения каждой функции ТС, а также о ресурсах необходимых для их выполнения определяют ресурсы, которые можно использовать в качестве резерва для выполнения задач ТС. Информация о необходимости обеспеченности ресурсом системы и оптимизации его использования поступает на второй коммутатор, через него на оптимизатор и в задатчик входных характеристик, взаимодействующий с ЗУ ресурсов системы. Информация о целях, функциях и задачах ТС, последовательности и времени их

выполнения, интервале готовности и ресурсном обеспечении поступает на блок формирования профиля системы, где формируется профиль ТС, который отправляется в блок отображения информации для визуального отображения и контроля функционирования сложной ТС и второй блок памяти, для сохранения информации о профиле функционирования сложной ТС и записи ее в базу данных, сформированную в этом блоке, и дальнейшей ее передачи в первый мультиплексор, в первую очередь об общем количестве выполняемых системой функций и задач, для моделирования функционирования сложной ТС и оценки устойчивости функционирования ТС.

В блоках моделирования производится моделирование режимов функционирования, с выходов блоков моделирования получают следующие характеристики: с блока моделирования - статические характеристики системы, с блока моделирования - динамические характеристики системы, с блока моделирования – решаемые системой задачи, выполняемые функции и достигаемые цели, а также результаты выполненных функций сложной ТС, т.е. количестве выполненных смоделированной системой функций в условиях воздействия дестабилизирующих факторов, получаемой с счетчика выполненных функций, с блока моделирования - характеристики эффективности применения системы и оценки ее функциональной устойчивости, заключающийся в вычислении коэффициента ФУ ТС, определяемым как отношение количество выполненных функций в условиях воздействия различных дестабилизирующих факторов к общему количеству функций, которые система должна была выполнить, в соответствии с профилем функционирования. Результаты моделирования и оценки функциональной устойчивости системы через первый коммутатор поступают на блок отображения информации для визуального контроля, а также в первый блок памяти. По команде с пульта управления данные из первого блока памяти передаются в блок обработки информации для последующей обработки и классификации. Полученная в результате обработки информация поступает на первый вход блока сравнения. В нем осуществляется сравнение выходных характеристик сформированной структуры ТС с характеристиками, задаваемыми с задатчика выходных характеристик и поступающими на второй вход блока сравнения (блоки 37а-38а рис. 7.7), а также сравнение заданного критерия оценки

функциональной устойчивости сложной ТС с результатом, полученным в блоке (блоки 40а-41а рис. 7.7) [432], задаваемыми с задатчика выходных характеристик 41 и поступающими на второй вход блока сравнения. Результаты сравнения поступают на блок отображения информации для контроля и анализа соответствия параметров структуры ТС заданным выходным характеристикам и оценки устойчивости функционирования сложной ТС. При несоответствии - корректируют входные характеристики ТС и повторяют процесс проектирования (блок 39а рис. 7.7), а при соответствии - информация из второго блока памяти передается в блок исполнительных механизмов для изготовления рабочей документации (блок 42а рис. 7.7).

На рис. 7.8 поясняется процесс резервирования ресурсов, предназначенных для выполнения *i*-х задач одной *j*-й функции и *i*-х задач разных *j*-х функций. Для выполнения второй $Z_2$ и четвертой $Z_4$ задач первой функции $F_1$ необходим ресурс $r_2$. В этом случае проверяется не совпадение времени начала проверки готовности выполнения каждой задачи, начала и окончания выполнения каждой задачи так, что $t_{13} \leq t_{14} - (t_{10} - t_{1г})$, т.е. окончание выполнения текущей (например, второй) задачи должно произойти раньше или в момент начала проверки готовности к выполнению последующей (например, четвертой) задачи. Для двух разных функций, при использовании для первой задачи $Z_1$ первой функции $F_1$ и восьмой задачи $Z_8$ второй функции $F_2$ одинакового ресурса $r_1$. В этом случае также проверяется не совпадение времени начала готовности выполнения текущей задачи, начала и окончания выполнения текущей задачи так, что $t_{12} \leq t_{20} - (t_{20} - t_{2г})$ , т.е. время окончания выполнения текущей задачи (например, первой) должно произойти раньше или в момент начала проверки готовности к выполнению последующей (например, восьмой) задачи.

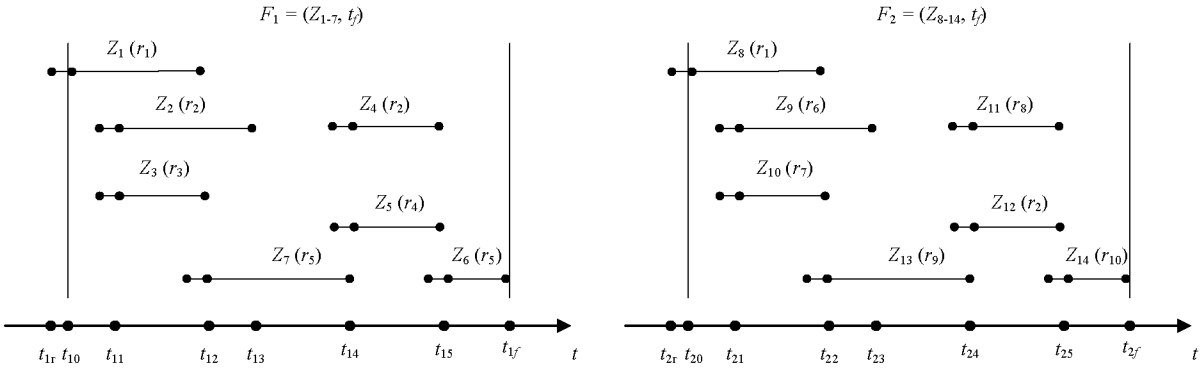



Рисунок 7.8 – Распределение ресурсов системы для выполнения ее задач

Показателем оценки функциональной устойчивости можно использовать показатель функциональной устойчивости сложной ТС, формируемый как отношение количества выполненных в процессе моделирования структуры сложной ТС и ее функционирования в условиях воздействия дестабилизирующих факторов к общему количеству функций системы в профиле функционирования сложной ТС, которые должна выполнить сложная ТС для достижения целей системы и выполнения ее целевого предназначения:

$$K_{фу} = \frac{Z_{\text{вып}}}{Z_{\text{общ}}}.$$

**Научная новизна методики** заключается в том, что в отличие от известных, разработанная методика позволяет:

автоматизировать управления процессом проектирования и построения ИУС;

повысить качество и эффективность проектирования ИУС;

оптимизировать использование ресурсов системы для обеспечения ее функционирования;

обеспечить выполнение заданного целевого предназначения ИУС за счет имеющегося ресурса, за счет построения профиля функционирования системы и контроля его выполнения;

оценивать степень функциональной устойчивости ИУС в любой момент времени;

сократить время реакции системы на возникающие в ней конфликты, обусловленные нарушением выполнения профиля функционирования ИУС.

Таким образом **эффект** методики определяется возможностью автоматизировано проектировать ИУС, обеспечивать ее оптимальным количеством ресурса для ее устойчивого функционирования, оценивать функциональную устойчивость проектируемой системы в условиях воздействия различных дестабилизирующих факторах, чем достигается решение поставленной задачи.

Предлагаемые технические решения являются новыми, поскольку из общедоступных сведений не известны предлагаемые способ и устройство автоматизированного управления процессом проектирования и функционирования сложной технической системы.

Предлагаемые технические решения промышленно применимы, так как основаны на средствах, широко использующихся в автоматизированных системах управления, системах связи, информационно-управляющих системах,

информационных системах. Последовательность действий способа и блоки устройства, автоматизированного управления процессом проектирования и функционирования сложной технической системы могут быть реализованы на основе персонального компьютера с соответствующим программным обеспечением для осуществления предусмотренных функций.

## 7.7. Способ обеспечения устойчивого функционирования сложной технической системы

Подходы к обеспечению устойчивого функционирования технических систем.

Развитие техники способствовало увеличению количества разнородных функций и решаемых техническими системами задач, количество которых постоянно растет. Сложность системы также определяется количеством элементов, подсистем в ней, их территориальным распределением и характером взаимодействия. Все это обуславливает сложность формализации таких систем, их проектирование и построение для решения необходимого количества задач и функций. Наряду с этим существует проблема учета всех событий в таких системах и обеспечения их устойчивого функционирования на протяжении жизненного цикла [65, 270, 302, 319, 448].

В способе моделирования аварии, диагностики и восстановления работоспособности сложной технологической структуры, и информационная система для его реализации [449] учитывается только структуры объекта и отсутствует учет выполнения системой функций и задач, при этом, устойчивость функционирования СТС при возможном воздействии на нее дестабилизирующих воздействий относительно низкая.

В способе и вычислительной системе повышения надежности и достоверности обработки критических функций отказоустойчивой вычислительной системы [450] эффект достигается за счет многократного резервирования трактов реализации критических функций, при которой процессы управления избыточностью и вычислительный процесс разделены в цикле реального времени и частично аппаратными средствами. В. качестве резервируемых единиц вычислителя выделяются так называемые вычислительные тракты, состоящие из неразрывно связанных цепочек входного интерфейса, процессора и выходного интерфейса. В каждом из вычислительных трактов производится мажоритарное сравнение сигналов, прошедших через каждый тракт. Неоднозначность мажоритарного сравнения сигналов в различных трактах устраняют мажоритарным сравнением результатов сравнения сигналов. Достоверность мажоритарного контроля сигналов достигается путем статистической обработки случайного, процесса изменения

критического параметра, вычисления остаточной дисперсии и ее мажоритарного сравнения.

Недостатками способа и системы являются относительно низкая устойчивость функционирования СТС при возможном воздействии на нее дестабилизирующих воздействий, учет только структуры объекта и отсутствие учета выполнения системой функций и задач, невозможность однозначного определения отказавших элементов системы и влияния их на функционирование системы.

В способе моделирования процессов обеспечения технической готовности сетей связи при технической эксплуатации, и система для его реализации [451]отсутствует учет выполнение функций и задач в сети, отсутствует учет влияния дестабилизирующих воздействий на сеть, при этом, устойчивость функционирования сети связи при воздействии дестабилизирующих воздействий на ее структурные элементы в этом случает довольно низкая.

В способе обеспечения отказоустойчивого функционирования перспективного комплекса средств автоматизации командных пунктов военного назначения и устройство, его реализующее [452] обеспечение функционирования объекта достигается за счет сортировки задачи по степени важности, отсутствует учет функциональной составляющей комплекса в процессе его функционирования, отсутствует учет влияния дестабилизирующих воздействий на комплекс, при этом, устойчивость функционирования комплекса при воздействии на него дестабилизирующих факторов довольно низкая.

Недостатками способа обеспечения устойчивого функционирования системы связи [453] является относительно низкая устойчивость функционирования комплекса при воздействии дестабилизирующих воздействий на него, отсутствие учета выполнения функций и задач комплекса в процессе его функционирования, отсутствие учета влияния дестабилизирующих воздействий на комплекс. Кроме этого, необходимость реконфигурации всей сети связи, без учета возможностей системы по выполнению функций и задач без изменения структуры сети.

## Методика обеспечения устойчивого функционирования СТС

Наличие противоречия между потребностями ЛПР в непрерывном и устойчивом функционировании ИУС и объективной реальностью возникновения ситуаций их нарушения. Данное противоречие обуславливает существование актуальной **научной задачи**, заключающейся в необходимости разработки способа и методики обеспечения устойчивого функционирования ИУС, позволяющих расширить возможности по

применению способа не только для сетей связи, но и для большого количества сложных технических систем, в том числе ИУС, обеспечить устойчивость функционирования системы при дестабилизирующих воздействиях на нее и ее функциональные элементы за счет определения наиболее эффективного варианта задействования технических средств для решения задач и функций системы, своевременно выявлять дестабилизирующие воздействия в процессе контроля функционирования системы и упреждающей реконфигурации вариантов задействования технических средств для решения задач и функций, выполнение которых нарушено.

**Суть способа и методики** заключается в обеспечении устойчивого функционирования ИУС, основанного на формировании сценариев задействования технических средств для выполнения каждой задачи, функции, своевременном выявлении воздействия ДФ и своевременной упреждающей реконфигурации системы из вариантов задействования технических средств для решения задач и функций, выполнение которых нарушено

**Показателями эффективности** являются вероятность выполнения ИУС своего целевого предназначения в установленные сроки $P_A\left(A \equiv A_{\text{треб}} \middle| E_{\text{затрач}} \le E,\ T_{\text{вып}} \le T_{\text{вып треб}}\right)$, где $T_{\text{вып}}$ – время затрачиваемое системой на выполнение требуемого целевого предназначения, $T_{\text{вып треб}}$ – максимальное требуемое время, которое может быть затрачено на выполнение целевого предназначения, $E_{\text{затрач}}$ – количество ресурсов, которое необходимо затратить на выполнение целевого предназначения, $E$ – количество ресурсов, которое имеется в системе, $A$ – целевое предназначение системы, $A$ – целевое предназначение системы, которое она должна выполнить,

Принято **допущение**: имеющийся у ИУС ресурс достаточен для выполнения целевого предназначения системы.

**Исходными данными** в методике являются:

состав сложной технической системы, включающий $G$ элементов и $L$ линий, и ее структура в виде графа $R = (G, L)$;

множество технических средств, находящихся на элементах системы, выступающих в качестве технического ресурса системы $O = \{O_1, O_2, \ldots, O_o\}$;

множество функций, которые выполняет подсистема сложной технической системы $F_i = \{F_{i1}, F_{i2}, \ldots, F_{ic}\}$;

множество функций, которые выполняет сложная техническая система $F = \{F_{11}, F_{12}, \ldots, F_{1c}, F_{21}, F_{22}, \ldots, F_{2c}, \ldots, F_{i1}, F_{i2}, \ldots, F_{ic}\}$;

множество задач, которые выполняет сложная техническая система $Z = \{Z_{11}, Z_{12}, \ldots, Z_{1q}, Z_{21}, Z_{22}, \ldots, Z_{2q}, \ldots, Z_{i1}, Z_{i2}, \ldots, Z_{iq}\}$;

множество ресурсов (технических средств), которые необходимы для выполнения целевого предназначения системы $E = \{E_{11}, E_{12}, \ldots, E_{1m}, E_{21}, E_{22}, \ldots, E_{2m}, \ldots, E_{i1}, E_{i2}, \ldots, E_{im}\}$;

множество требований, предъявляемых к сложной технической системе и ее элементам $T = \{T_{11}, T_{12}, \ldots, T_{1n}, T_{21}, T_{22}, \ldots, T_{2n}, \ldots, T_{i1}, T_{i2}, \ldots, T_{in}\}$;

множество параметров оценки качества функционирования каждой подсистемы сложной технической системы $H_i = \{H_{i1}, H_{i2}, \ldots, H_{id}\}$;

множество параметров оценки эффективности вариантов задействования технических средств сложной технической системы для выполнения функций и задач $H = \{H_{11}, T_{12}, \ldots, H_{1d}, H_{21}, H_{22}, \ldots, H_{2d}, \ldots, H_{i1}, H_{i2}, \ldots, H_{id}\}$;

целевое предназначение системы, выполнение которого обеспечивается выполнением функций системы $A = \{F_1, F_2, \ldots, F_j\}$;

время начала и длительность выполнения каждой задачи ТС;

время начала и длительность выполнения каждой функции ТС;

время начала и длительность интервала проверки готовности к выполнению каждой задачи ТС;

время начала и длительность интервала проверки готовности выполнению каждой функции ТС.

**Используемые методы:** методы теории графов; методы теории матриц, методы теории вероятности, методы теории множеств.

Предлагаемые технические решения являются новыми, поскольку из общедоступных сведений не известен предлагаемый способ построения сложной технической системы.

Предлагаемые технические решения промышленно применимы, так как основаны на средствах, широко использующихся в автоматизированных системах управления, системах связи, системах защиты, системах управления, ИУС, информационных системах, критически важных объектах и объектах критической информационной инфраструктуры и других сложных технических системах, при этом последовательность действий способа может быть реализована на основе персонального компьютера с соответствующим программным обеспечением.

**Описание методики**

Автоматизированное построение технической системы можно разделить на три основных этапа. На первом этапе формируется множество возможных вариантов построения подсистем технической системы, ограниченное требованиями к подсистемам,

возможностью выполнения ими необходимого перечня задач и функций, возможностью совместного функционирования подсистем, на втором этапе формируется множество возможных вариантов построения технической системы, ограниченное требованиями к, возможностью выполнения ее необходимого перечня задач и функций, на третьем этапе производится ресурсная оценка затрат на построение технической системы и выбирается наиболее эффективный вариант ее построения.

Рассмотрим порядок выполнения методики, основные элементы которой представлены блок-схемой (рис. 7.9).

Для достижения цели изобретения первоначально формируют реляционную базу данных (бл. 2, рис. 7.9), задают критерии оценки параметров, характеризующих выполнение задач и функций системы (бл. 3, рис. 7.9), задают критерии оценки технических средств системы (бл. 3, рис. 7.9).

Перед разворачиванием системы в рабочее состояние, определяют и запоминают функции ТС, определяют и запоминают задачи, выполняемые технической системой, выполнение которых позволит выполнить каждую функцию системы. Определяют и запоминают последовательность выполнения задач, выполнение которых позволяет реализовать каждую функцию ТС, определяют и запоминают перечень ресурсов, необходимых для выполнения каждой задачи (бл. 5, рис. 7.9).

Определяют и запоминают перечень технических средств системы, необходимых для выполнения каждой задачи, определяют и запоминают перечень технических средств системы, необходимых для выполнения каждой функции (бл. 5, рис. 7.9).

Задают возможности технических средств, входящих в состав системы, по предоставлению ресурсов для функционирования системы (бл. 6, рис. 7.9) и исходя из возможностей технических средств системы по предоставлению ресурса для нее формируют и записывают в БД все возможные варианты задействования технических средств, использование которых позволяет выполнить каждую задачу системы (бл. 7, рис. 7.9). Моделируют выполнение задач и функций системы с использованием сохраненных вариантов задействования технических средств для выполнения задач системы (бл. 8, рис. 7.9), оценивают эффективность вариантов задействования технических средств СТС) (бл. 9, рис. 7.9).

Ранжируют варианты задействования технических средств по эффективности (бл. 10, рис. 7.9) и выбирают наиболее эффективные варианты их задействования для выполнения каждой задачи и функции (бл. 11, рис. 7.9) [426, 428].

Остальные проранжированные варианты задействования технических средств для выполнения всех задач и функций системы сохраняют в качестве множества сценариев

восстановления выполнения задач и функций для каждых задачи и функции, при нарушении их выполнения (бл. 12, рис. 7.9).

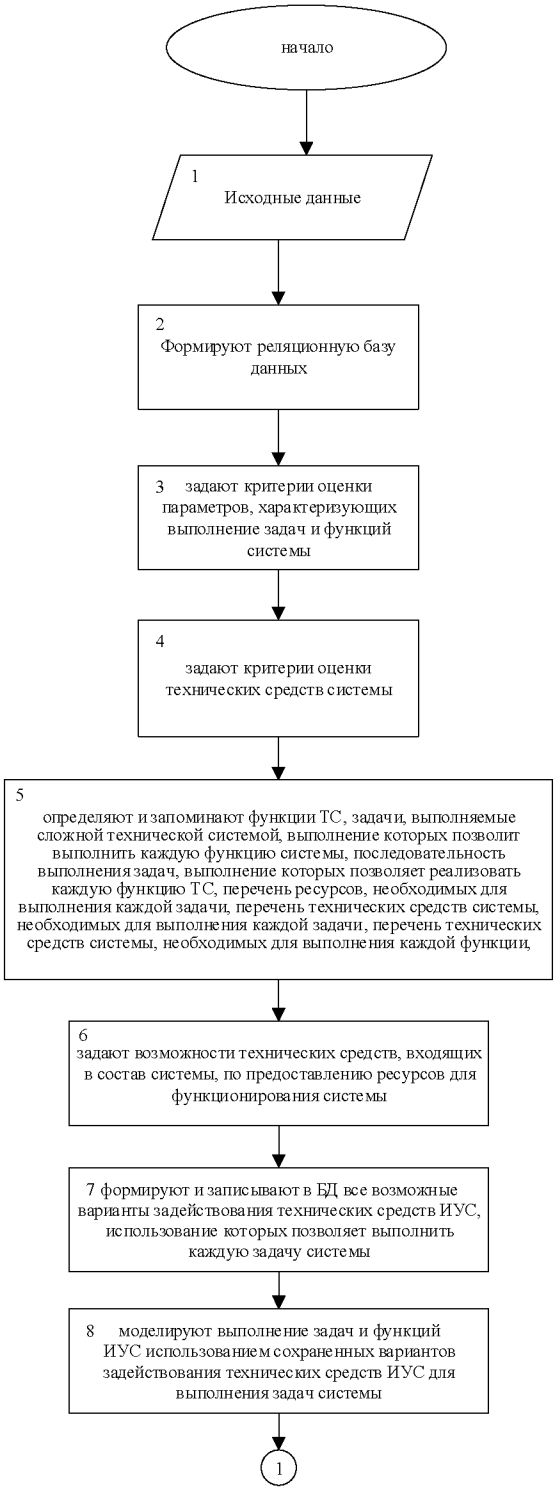



Рисунок 7.9 – Блок схема реализации методики обеспечения устойчивого функционирования ИУС (начало)

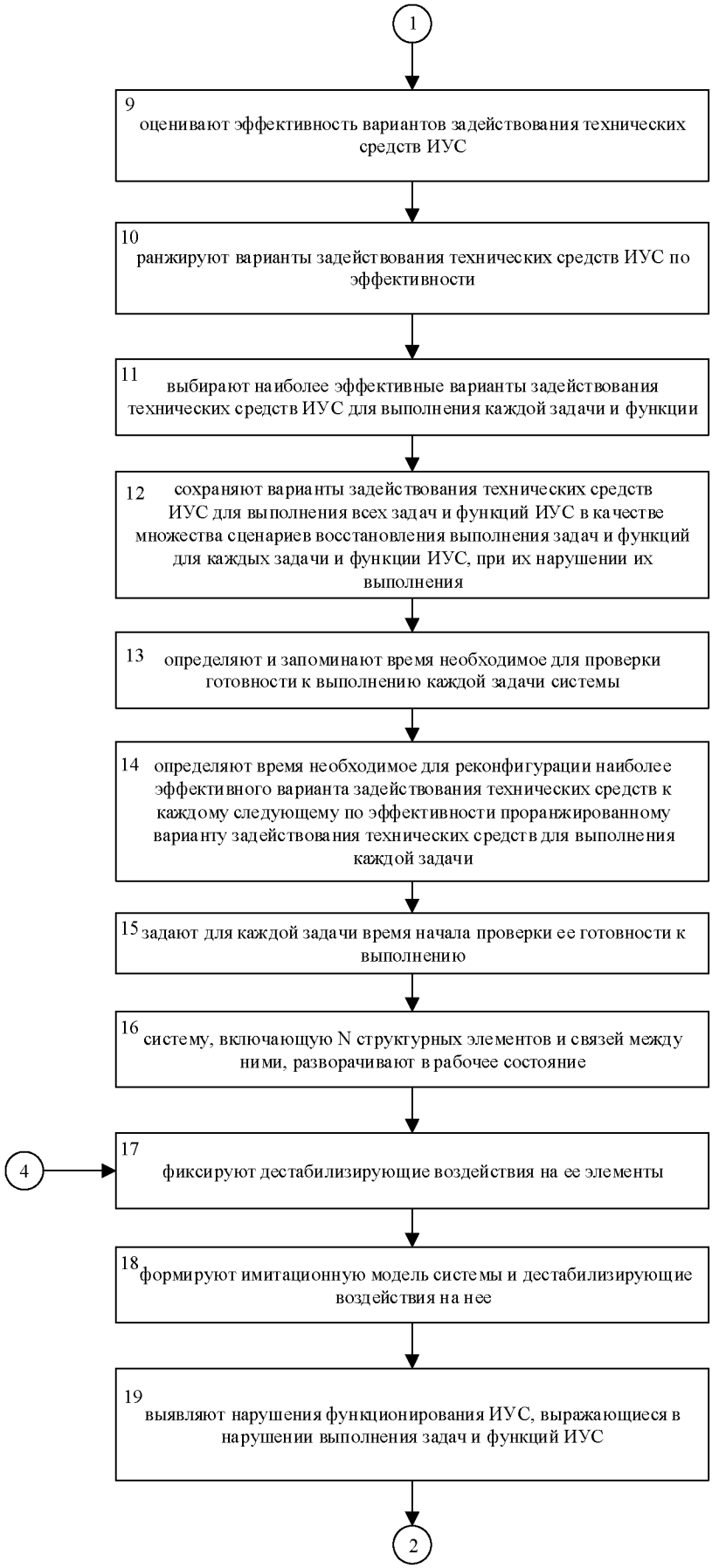



Рисунок 7.9 – Блок схема реализации методики обеспечения устойчивого функционирования ИУС (продолжение)

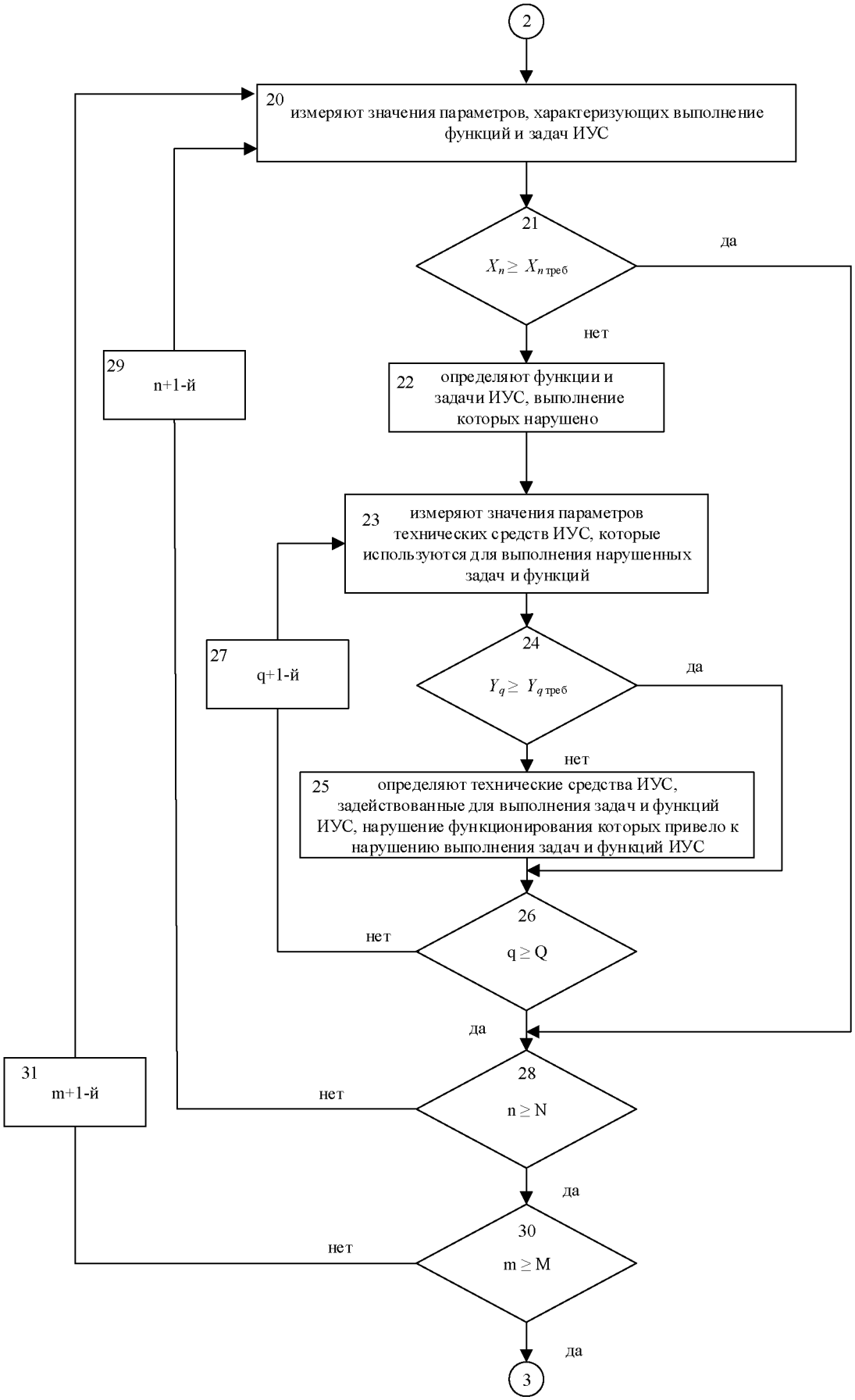



Рисунок 7.9 – Блок схема реализации методики обеспечения устойчивого функционирования ИУС (продолжение)

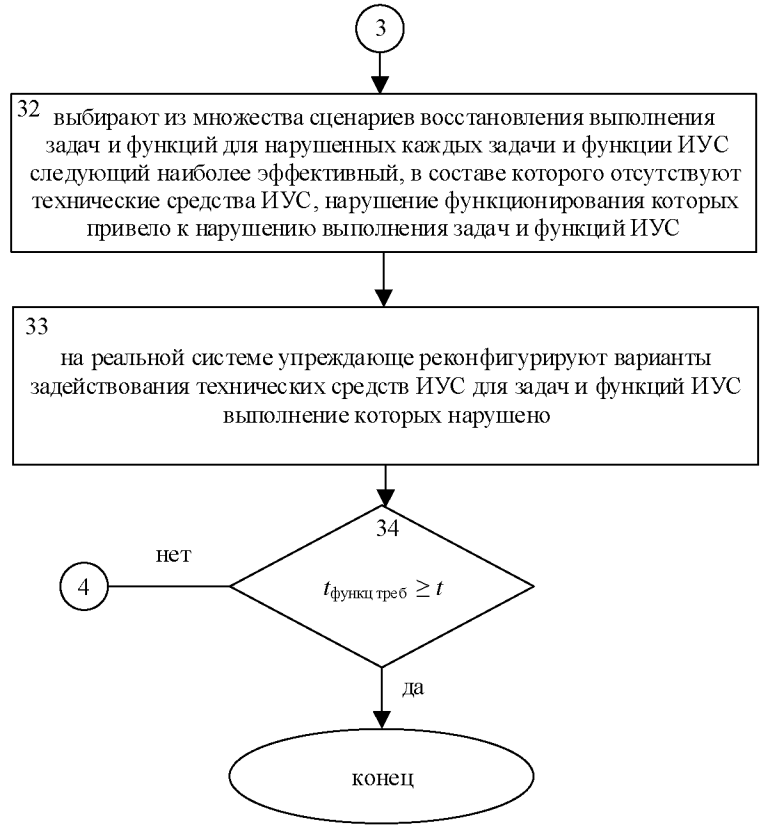



Рисунок 7.9 – Блок схема реализации методики обеспечения устойчивого функционирования ИУС (окончание)

Для осуществления контроля выполнения системой функций и задач определяют и запоминают время необходимое для проверки готовности к выполнению каждой задачи системы (бл. 13, рис. 7.9), определяют время необходимое для реконфигурации наиболее эффективного варианта задействования технических средств к каждому следующему по эффективности проранжированному варианту задействования технических средств для выполнения каждой задачи (бл. 14, рис. 7.9). Задают для каждой задачи время начала проверки ее готовности к выполнению (бл. 15, рис. 7.9).

Разворачивают в рабочее состояние ИУС, включающую $N$ структурных элементов и связей между ними (бл. 16, рис. 7.9), фиксируют дестабилизирующие воздействия на ее элементы (бл. 17, рис. 7.9).

Формируют имитационную модель всей системы, моделируют дестабилизирующие воздействия на ней (бл. 18, рис. 7.9). При моделировании функционирования системы и дестабилизирующих воздействий на имитационную модель системы выявляют нарушения функционирования ИУС, выражающиеся в нарушении выполнения задач и функций (бл. 19, рис. 7.9), для чего измеряют значения параметров, характеризующих выполнение функций и задач системы (бл. 20, рис. 7.9), сравнивают измеренные значения параметров с

заданными критериями их оценки (бл. 21, рис. 7.9). Определяют функции и задачи, выполнение которых нарушено (бл. 22, рис. 7.9). Определяют технические средства, задействованные для выполнения задач и функций, нарушение функционирования которых привело к нарушению выполнения задач и функций, для чего измеряют значения параметров технических средств (бл. 23, рис. 7.9), которые используются для выполнения нарушенных задач и функций и сравнивают измеренные значения параметров с заданными критериями их оценки (бл. 24, рис. 7.9) [425, 432].

Проверяют все возможные функции (бл. 30, рис. 7.9) и задачи (бл. 28, рис. 7.9), выполнение которых нарушено, измерением всех параметров системы, характеризующих выполнение нарушенных функций и задач, а также измерением параметров технических средств (бл. 26, рис. 7.9), вариантов задействования технических средств системы, использующего для выполнения задачи и функции, выполнение которых нарушено.

Оценивают возможность их использования для выполнения нарушенных задач и функций и выбирают из множества сценариев восстановления выполнения задач и функций для нарушенных каждых задачи и функции следующий наиболее эффективный, в составе которого отсутствуют технические средства, нарушение функционирования которых привело к нарушению выполнения задач и функций (бл. 32, рис. 7.9).

Повторяют процесс моделирования, измерения параметров и оценки до момента выбора наиболее устойчивого варианта задействования технических средств системы для решения каждой задачи и функции в процессе ее функционирования.

На реальной системе упреждающе реконфигурируют варианты задействования технических средств для задач и функций, выполнение которых нарушено (бл. 34, рис. 7.9).

Таким образом, за счет определения наиболее эффективного варианта задействования технических средств ИУС для решения задач и функций, своевременного выявления дестабилизирующих воздействий в процессе контроля функционирования системы и упреждающей реконфигурации вариантов задействования технических средств для решения задач и функций, выполнение которых нарушено, достигается обеспечение устойчивости функционирования ИУС.

## 7.8. Система контроля процесса функционирования ИУС АН

Для получения достоверной информации о состоянии системы и ее элементов выполняется контроль профиля ее функционирования, для чего предлагается

использовать систему контроля процесса функционирования ИУС. Актуальность построения систем контроля определяется работами в этой области.

Известная система диагностики, удаленного мониторинга и оценки состояния критически важных объектов [454], обладает недостаточными функциональными возможностями, которые не позволяют осуществлять контроль всех процессов, происходящих на контролируемом объекте и не учитывает выполняемые объектом задачи и функции. Кроме этого, не учитывает отрезки времени выполнения контролируемым объектом своих задач. В системе не определено количество параметров, частота их измерения и порядок контроля объектов.

Известная система контроля и управления транспортной инфраструктурой [455], не учитывает процесс функционирования системы, ее задачи и предназначение, т. е. не учитывает функциональные возможности системы, а также в течении какого времени они выполняются, при этом не определяется количество контролируемых параметров и порядок их измерения.

Проектирования структуры системы управления техническими системами [446] осуществляется только на основе построения структуры системы, не учитываются функциональные возможности системы. Кроме этого, способ и устройство предназначены только для управления процессом проектирования и не используется в процессе функционирования системы, в частности для контроля ее функционирования.

Система мониторинга событий компьютерной безопасности [456] содержит средства сбора событий, поиска решений, регистрации инцидента и анализа событий, блок управления, но обладает недостаточными функциональными возможностями, которые не позволяют осуществлять контроль всех процессов, происходящих на контролируемом объекте и не учитывает выполняемые объектом задачи и функции. Кроме этого, не учитывает отрезки времени выполнения контролируемым объектом своих задач, а также количество измеряемых параметров.

Предлагаемая система контроля процесса функционирования ИУС [457] проверяет выполнение системой задач, функций, целей и измерения параметров, их характеризующих на отрезках времени, когда они планируются к выполнению и выполняются [458]. Проведенный анализ уровня техники позволил установить, что аналоги, характеризующиеся совокупностью признаков, тождественных всем признакам заявленной системы, отсутствуют, что указывает на соответствие заявленной системы условию новизны.

Заявленная система поясняется рисунком 7.10, на котором указана структурная схема системы контроля процесса функционирования ИУС, где приведены следующие обозначения:

1 – планировщик;

2 - узел формирования структуры СТС;

3 - узел формирования функциональной структуры СТС;

4 - узел контроля функциональной структуры СТС;

5 - узел контроля;

6 - блок отображения информации;

7 - реляционная база данных;

8 - сканер;

9 - блок анализа линий связи СТС;

10 - блок анализа элементов СТС;

11 - блок формирования структуры СТС;

12 - блок анализа технических средств элементов СТС;

13 - блок анализа возможностей технических средств элементов СТС;

14 - блок анализа целевого предназначения СТС;

15 - блок анализа целей СТС;

16 - блок анализа требований к СТС;

17 - блок анализа функций СТС;

18 - блок определения последовательности выполнения функций;

19 - блок анализа задач СТС;

20 - блок определения последовательности выполнения задач;

21 - блок анализа ресурсов СТС;

22 - блок определения последовательности задействования ресурсов;

23 - блок формирования вариантов задействования технических средств СТС для выполнения каждой задачи;

24 - блок формирования вариантов задействования технических средст СТС для выполнения каждой функции;

25 - блок формирования функциональной структуры СТС;

26 - блок формирования регламента функционирования СТС;

27 - блок определения времени проверки, выполнения и задействования;

28 - сканер;

29 - блок контроля структуры СТС;

30 - блок контроля наличия и задействования ресурсов;

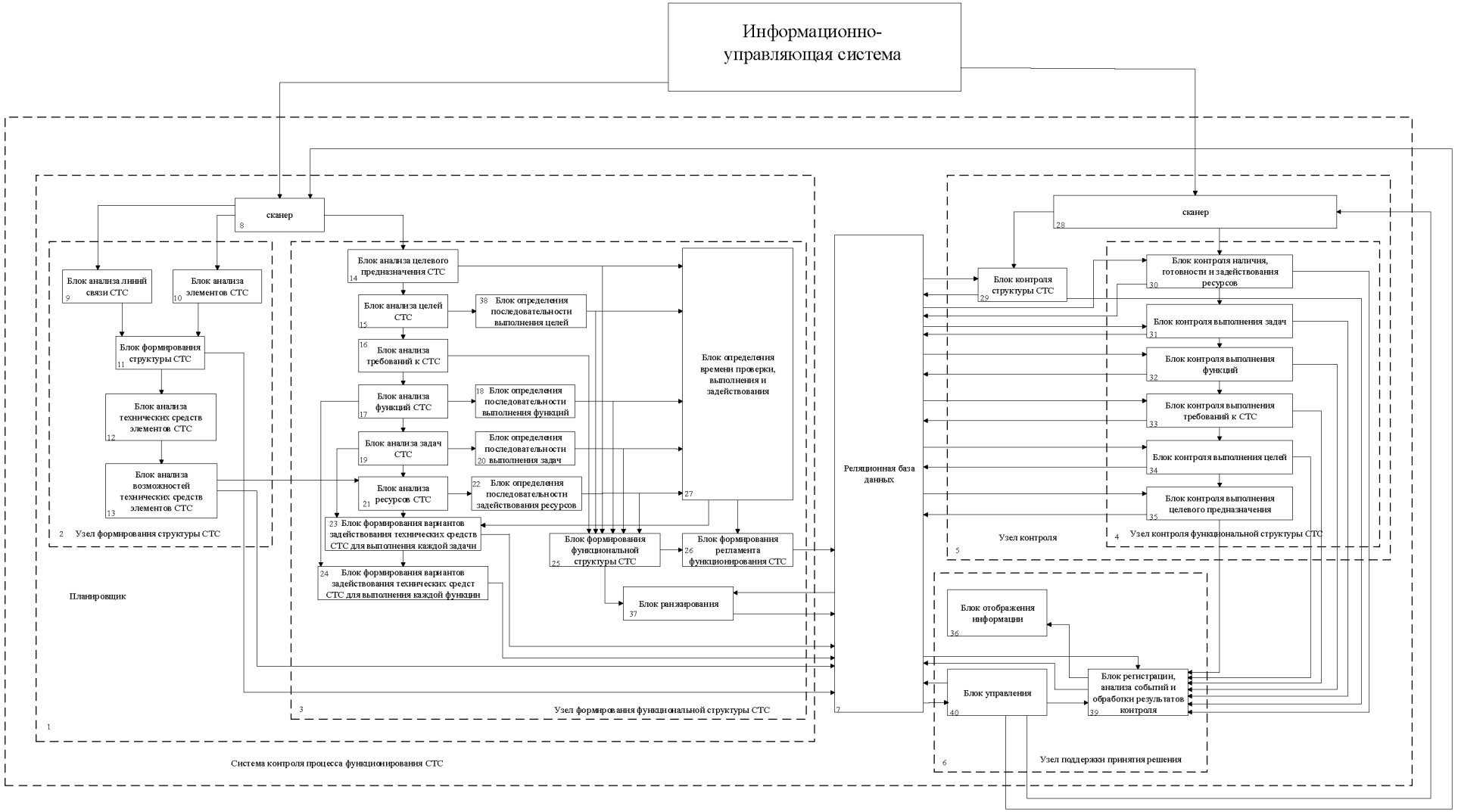



Рис. 7.10 – Структурная схема системы контроля процесса функционирования ИУС

31 - блок контроля выполнения задач;

32 - блок контроля выполнения функций;

33 - блок контроля выполнения требований к СТС;

34 - блок контроля выполнения целей;

35 - блок контроля выполнения целевого предназначения;

36 - блок отображения информации;

37 - блок ранжирования;

38 - блок определения последовательности выполнения целей;

39 - блок регистрации, анализа событий и обработки результатов контроля;

40 - блок управления.

Система контроля процесса функционирования ИУС, содержит реляционную базу данных 7, планировщик 1, включающий узел формирования структуры СТС 2, узел формирования функциональной структуры СТС 3 и сканер 8, первый вход которого соединен с блоком управления 40, второй вход соединен с контролируемой СТС, первый выход сканера соединен с узлом формирования структуры СТС 2 через вход блока анализа линий связи СТС 9 и вход блока анализа элементов СТС 10, выходы которых соединены с входом блока формирования структуры СТС 11, первый выход которого соединен с реляционной базой данных 7, второй выход соединен с блоком анализа технических средств элементов СТС 12, выход которого соединен с блоком возможностей анализа технических средств элементов СТС 13, первый выход которого через блок анализа ресурсов СТС 21, соединен с узлом формирования функциональной структуры СТС 3, второй выход соединен с реляционной базой данных 7, второй выход сканера соединен с узлом формирования функциональной структуры СТС 3 через блок анализа целевого предназначения СТС 14, первый выход которого соединен с блок определения времени проверки, выполнения и задействования 27 и блоком формирования функциональной структуры СТС 25, второй выход с блоком анализа целей СТС 15, первый выход которого через блок определения последовательности выполнения целей 38 соединен с блок определения времени проверки, выполнения и задействования 27 и блоком формирования функциональной структуры СТС 25, второй выход с блоком анализа требований к СТС 16, первый выход которого соединен с блок определения времени проверки, выполнения и задействования 27 и блоком формирования функциональной структуры СТС 25, второй выход с блоком анализа функций СТС 17, первый выход которого через блок определения последовательности выполнения функций 18 соединен с блок определения времени проверки, выполнения и задействования 27 и блоком формирования функциональной структуры СТС 25, третий выход которого соединен с блоком формирования вариантов

задействования технических средств СТС для выполнения каждой функции 24, второй выход с блоком анализа задач СТС 19, первый выход которого через блок определения последовательности выполнения задач 20 соединен с блок определения времени проверки, выполнения и задействования 27 и блоком формирования функциональной структуры СТС 25, третий выход которого соединен с блоком формирования вариантов задействования технических средств СТС для выполнения каждой задачи 23, второй выход с блоком анализа ресурсов СТС 21, первый выход которого через блок определения последовательности задействования ресурсов 22 соединен с блок определения времени проверки, выполнения и задействования 27 и блоком формирования функциональной структуры СТС 25, второй выход которого соединен с блоком формирования вариантов задействования технических средств СТС для выполнения каждой задачи 23, первый выход которого соединен с реляционной базой данных 7, третий вход с блоком определения времени проверки, выполнения и задействования 27, второй выход соединен с блоком формирования вариантов задействования технических средств СТС для выполнения каждой функции 24, выход которого соединен с реляционной базой данных 7, первый выход блока формирования функциональной структуры СТС 25 соединен с блоком ранжирования 37, второй вход и выход которого соединены с реляционной базой данных 7, второй выход блока формирования функциональной структуры СТС 25 соединен со вторым входом блока формирования регламента функционирования СТС 26, первый вход которого соединён с блоком определения времени проверки, выполнения и задействования 27, а выход с реляционной базой данных 7.

Узел поддержки принятия решения 6, который через второй выход блока управления 40 соединен с узлом контроля 5 через первый вход сканера 28, второй вход которого соединен с СТС, первый выход с блоком контроля структуры СТС 29, первый выход которого соединен с блоком регистрации, анализа событий и обработки результатов контроля 39, второй выход и вход которого соединены с реляционной базой данных 7, второй выход сканера 28 соединен с узлом контроля функциональной структуры 4 через вход блока контроля наличия и задействования ресурсов 30, первый выход которого соединен с блоком регистрации, анализа событий и обработки результатов контроля 39, второй выход и вход которого соединены с реляционной базой данных 7, третий выход которого соединен с входом блока контроля выполнения задач 31, первый выход которого соединен с блоком регистрации, анализа событий и обработки результатов контроля 39, второй выход и вход которого соединены с реляционной базой данных 7, третий выход которого соединен с входом блока контроля выполнения функций 32, первый выход которого соединен с блоком регистрации, анализа событий и обработки результатов

контроля 39, второй выход и вход которого соединены с реляционной базой данных 7, третий выход которого соединен с входом блока контроля выполнения требований к СТС 33, первый выход которого соединен с блоком регистрации, анализа событий и обработки результатов контроля 39, второй выход и вход которого соединены с реляционной базой данных 7, третий выход которого соединен с входом блока контроля выполнения целей 34, первый выход которого соединен с блоком регистрации, анализа событий и обработки результатов контроля 39, второй выход и вход которого соединены с реляционной базой данных 7, третий выход которого соединен с входом блока контроля выполнения целевого предназначения 35, первый выход и вход которого соединены с реляционной базой данных 7, второй выход которого соединен с блоком регистрации, анализа событий и обработки результатов контроля 39, первый вход которого соединен с блоком управления 40, второй вход и первый выход с реляционной базой данных 7, второй выход соединен с блоком отображения информации 36, четвертый выход и вход блока управления 40 соединен с реляционной базой данных 7.

## 7.9. Способ контроля процесса функционирования ИУС

Предложенная в разделе 7.8 система контроля процесса функционирования ИУС реализована последовательностью действий, представленных на рисунке 7.10. Актуальность разработки способа контроля определяется исследованиями в данной области. Из существующего уровня техники известны различные способы и системы, предназначенные для мониторинга состояния технических систем. Для контроля и диспетчеризации состояния сетей и систем в настоящее время применяется два подхода [457-461]:

- непрерывная передача данных о состоянии сети с заданным периодом обновления, при этом данные содержат значения измеряемого параметра и содержат или не содержат метку времени;

- формирование событий при обнаружении изменения состояния электрических сетей и сетей связи (выход измеряемого значения за заданный порог, изменение текущего измеряемого значения относительно предыдущего на заданную величину и т.п.), при этом события содержат значения измеряемого параметра и метку времени события.

Первый подход при малом (относительно времени изменения измеряемого технологического параметра) периоде обновления позволяет получить высокую степень детализации измеряемых параметров, но содержит большую избыточность в стационарном режиме (передаются данные, не содержащие новой полезной информации). Кроме того, объем данных требует наличия канала связи с объектом контроля с достаточно высокой пропускной способностью. Крайним случаем первого подхода является непрерывное измерение формы входного сигнала параметра с использованием осцилографа. При относительно большом же периоде обновления обеспечивается низкая степень детализации измеряемых параметров, вплоть до пропуска быстро протекающих процессов. Кроме этого, при использовании данного подхода не учитывается, что один и тот же параметр может характеризовать выполнение различного количества разнородных задач и функций, при этом в зависимости от задачи критерий оценки параметра может отличаться, поэтому производится измерение одного и того же параметра при оценке разных задач и функций, что в большинстве случаев избыточно. При этом возрастает нагрузка на канал связи, использующийся для передачи метрологической информации, устройства памяти и вычислители, к которым предъявляются большие требования.

Второй подход обеспечивает обнаружение изменений состояния сетей и систем при уменьшении, по сравнению с первым подходом, объема данных с объекта контроля. Критерии формирования событий (например, выбор значений порогов, при пересечении которых измеряемым параметром формируется событие) имеют определяющее значение с точки зрения степени детализации данных измерений. Существуют комбинированные реализации, в которых при обнаружении изменений состояния сетей, систем и энергообъектов формируются соответствующие события со значениями параметров. Данный подход, также не учитывает, что один и тот же параметр может характеризовать выполнение различного количества разнородных задач и функций, что может приводить к избыточности измерений.

Известны также способы контроля состояния объектов, включающих большое число контролируемых параметров [462, 463]. Способы основаны на представлении большой системы в виде иерархии ее структурных элементов,

задании контролируемых параметров и осуществлении их периодического контроля. Недостатком таких способов является невысокая точность и оперативность оценки состояния объекта контроля из-за отсутствия точного периода контроля. Кроме того, производится постоянное измерение большого количества параметров системы, независимо от задействования элементов для выполнения задач и функций системы, что в большинстве случаев избыточно.

Известный способ мониторинга технического состояния узлов и агрегатов сельскохозяйственной машины [464]. ограничен областью применения. Постоянное измерение всех параметров, характеризующих техническое состояние узлов и агрегатов, что в большинстве случаев избыточно и приводит к увеличению времени цикла контроля, а также отсутствие учета задействования ресурсов и объектов системы для выполнения функций и задач системы в различные периоды функционирования системы.

Способ комбинированного контроля состояния процесса функционирования автоматизированных систем [465] и способ контроля многопараметрического объекта [463] ограничены областью применения. В них проводится контроль объектов, независимо от времени их использования, а контроль выполнения функций и задач отсутствует. При этом для каждого структурного элемента формируется множество всех параметров, его описывающих и подлежащих контролю, что может быть избыточно.

В способе мониторинга состояния электрических сетей и сетей связи [466] производится измерение всех возможных контролируемых параметров выбранного класса состояния сети, каждый из которых характеризуется различной точностью измерения, размерностью и имеющих различное значение для сети. Отсутствует учет задействования элементов сетей для выполнения задач и функций.

## Методика контроля процесса функционирования сложной технической системы

Процесс контроля сложных технических систем является ресурсозатратным мероприятием, что обусловлено наличие в системе множества элементов и связей между ними. Наряду с этим, существует потребность лиц, принимающих решение, в устойчивом функционировании ИУС, т.е. выполнение ею всех требуемых процессов и своего целевого предназначения, что в условиях изменяющейся обстановки воздействия на систему

различных факторов, а также неопределенности состояния самой системы и ее элементов, обеспечить проблематично. Все это приводит к возникновению противоречия между необходимостью обеспечения устойчивого и непрерывного функционирования системы и объективной реальностью изменения ее состояния под действием различных факторов.

Данное противоречие обуславливает существование актуальной **научной задачи**, заключающейся в необходимости выявления нарушенных процессов, функций и задач системы, а также принятия мер для обеспечения устойчивости функционирования ИУС.

**Суть методики** заключается в определении текущих функций и задач системы, выполнение которых характеризуется измерением определенного перечня параметров.

**Показателем эффективности** является полнота и оптимальность количества параметров контроля, а также уменьшение затрат на ведение контроля за счет выбора оптимального количества параметров контроля, характеризующих выполнение текущих функций и задач.

Принято **допущение**: память базы данных, предназначенной для хранения профиля функционирования и его элементов достаточно для хранения, требуемого объема данных, характеризующих ее функционирование.

**Исходными данными** в методике являются:

состав ИУС, включающий $G$ узлов и $L$ линий, и структура в виде графа $R = (G, L)$;

профиль функционирования ИУС, определяемый целевым предназначением системы, совокупностью целей, требований, функций, задачи ресурсов системы;

время начала и длительность выполнения каждой задачи ТС;

время начала и длительность выполнения каждой функции ТС;

время начала и длительность интервала проверки готовности к выполнению каждой задачи ТС;

время начала и длительность интервала проверки готовности выполнению каждой функции ТС;

время начала и длительность интервала проверки готовности к выполнению каждой цели ТС;

требования к процессу функционирования системы, характеризующие качество и сроки выполнения ее функций.

**Критерием** эффективности выполнения контроля является коэффициент, определяемый как отношение количества своевременно выполненных элементов профиля функционирования ИУС к требуемому к выполнению количеству элементов профиля функционирования ИУС.

**Используемые методы:** методы теории графов; методы теории вероятности, методы теории множеств.

**Описание методики**

Рассмотрим работу методики, основные элементы которой представлены блок-схемой (рис. 7.11).

Предварительно формируют реляционную базу данных (РБД) (бл. 2, рис. 7.10), в которую в дальнейшем будет записываться исходные данные и информация о результатах контроля (блок 1 рис. 7.11).

На основе данных опыта предыдущей эксплуатации, а также требований, представленных в существующих ГОСТ (ОСТ) и других нормативных документов, регламентирующих требования к сложным техническим системам, а также потребностями вышестоящих систем, должностных лиц, в интересах которых функционируют ИУС, формируют перечень контролируемых параметров (блок 3 рис. 7.10).

Задают в блоке управления и записывают в РБД критерии оценки выполнения требований, предъявляемых к системе, целей, функций и задач, параметры и критерии оценки готовности к использованию ресурсов, параметры и критерии оценки готовности к выполнению функций и задач (блок 4 рис. 7.11).

Как известно, состояние сложных технических систем характеризуются большим количество параметров. В качестве контролируемых параметров для анализа, например, системы связи в соответствии с руководящими документами [196, 467-472] могут выступать:

- параметры передачи и параметры влияния кабельных линий связи (сопротивление, индуктивность, емкость, проводимость изоляции, волновое сопротивление, коэффициент затухания, коэффициент фазы, электрическая связь, магнитная связь, волновое сопротивление, рабочее затухание; переходное затухание, частота сигнала, уровень шума и др.- для электрических кабелей, мощность сигнала, затухание сигнала в линии, длина волны или частота несущего электромагнитного излучения, дисперсия (расширение) импульса в тракте, чувствительность системы передачи при заданном коэффициенте ошибок, ширина спектральной линии оптического излучения, поляризационная модовая дисперсия, комбинационное рассеяние - для волоконно-оптических линий связи и др.);

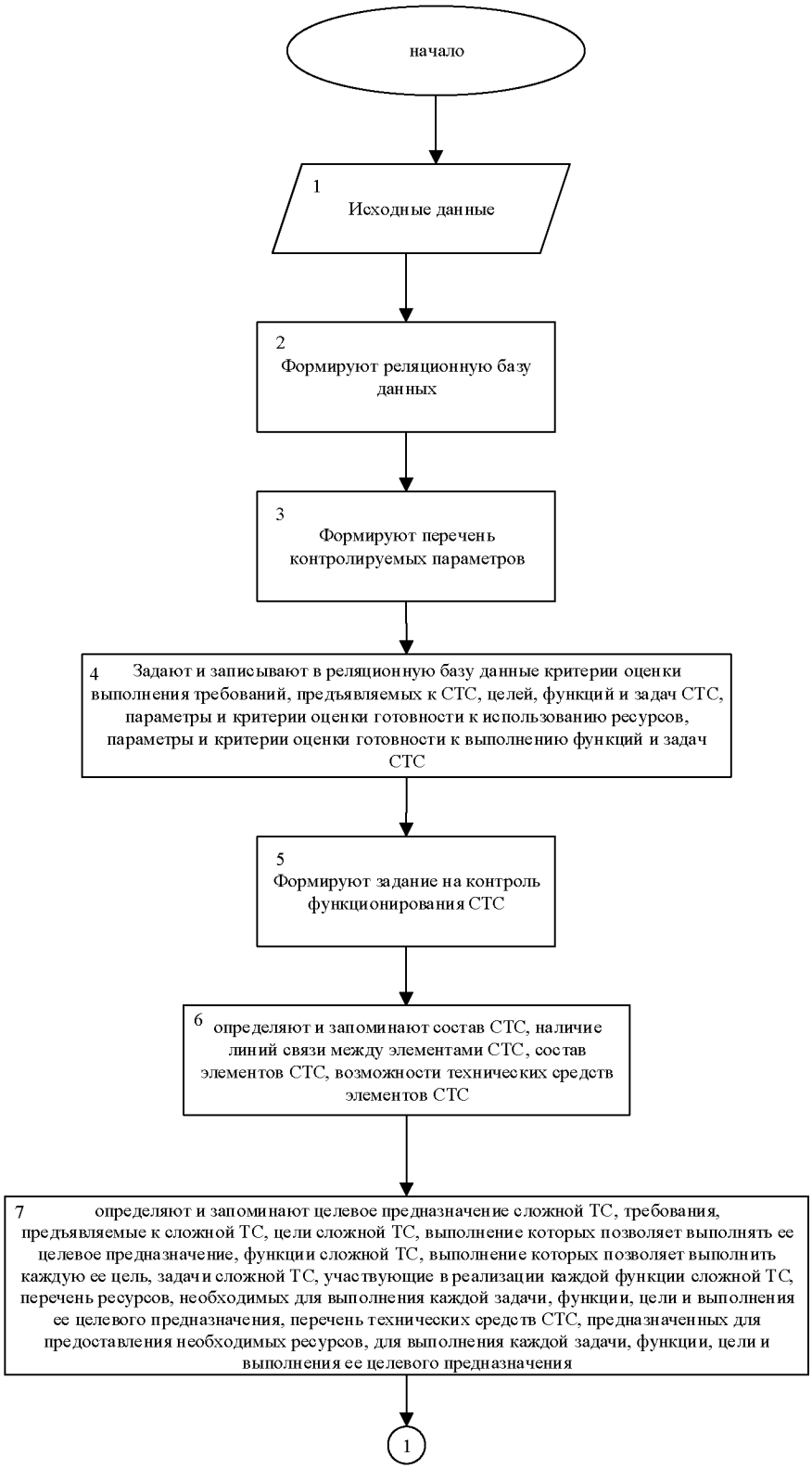



Рисунок 7.11 – Блок-схема алгоритма способа контроля процесса функционирования ИУС (начало)

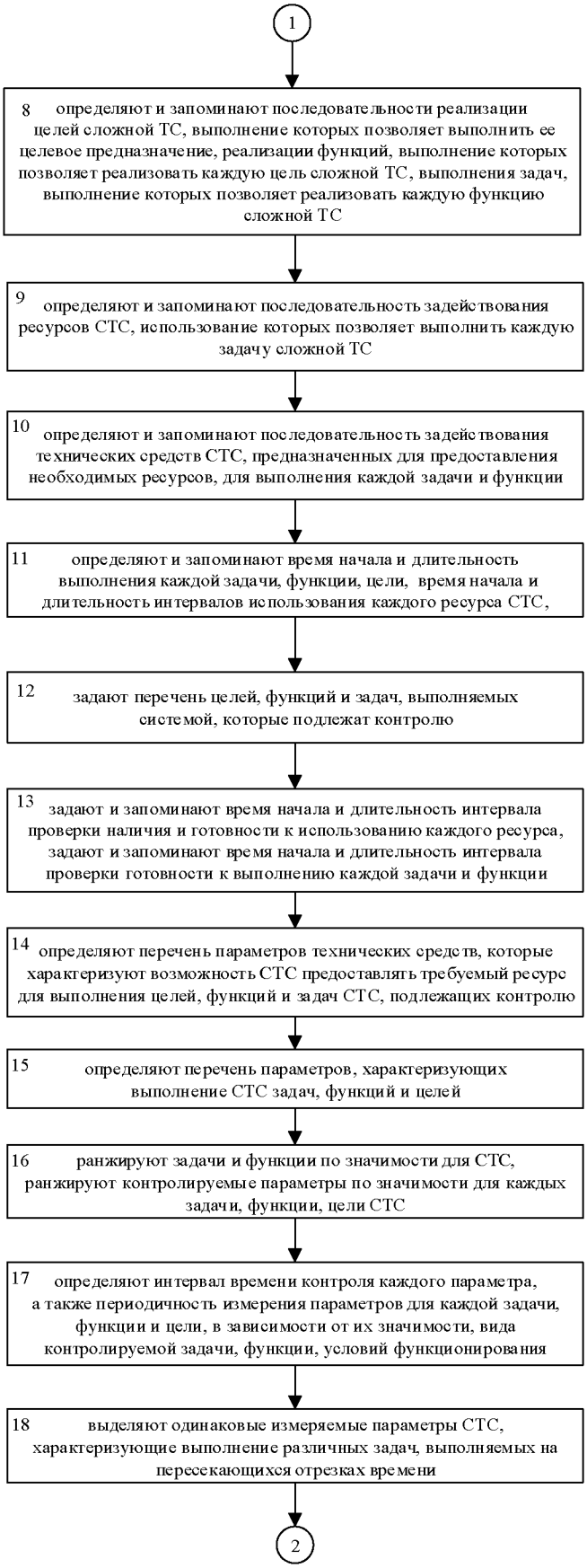



Рисунок 7.11 – Блок-схема алгоритма способа контроля процесса функционирования ИУС (продолжение)

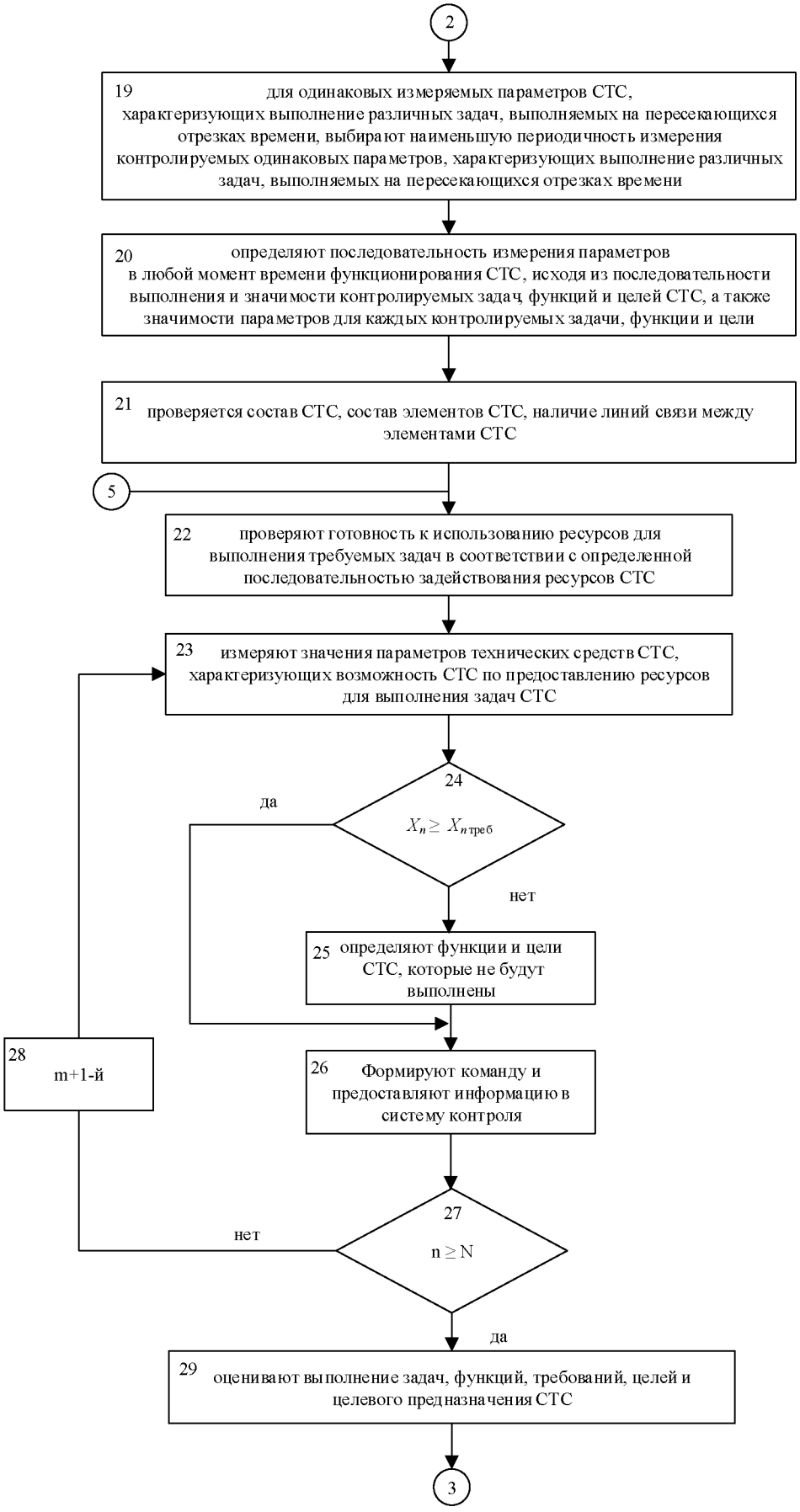



Рисунок 7.11 – Блок-схема алгоритма способа контроля процесса функционирования ИУС (продолжение)

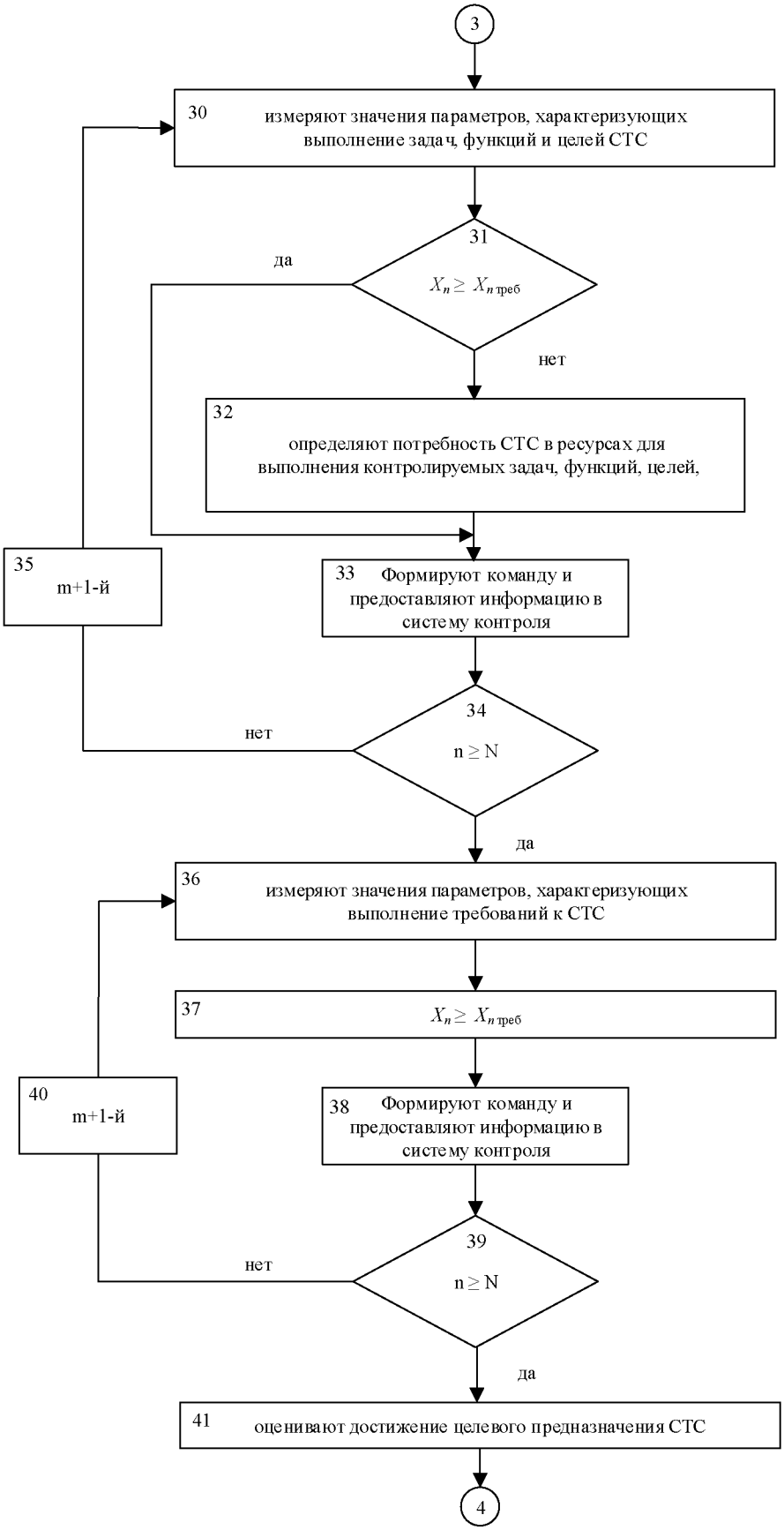



Рисунок 7.11 – Блок-схема алгоритма способа контроля процесса функционирования ИУС (продолжение)

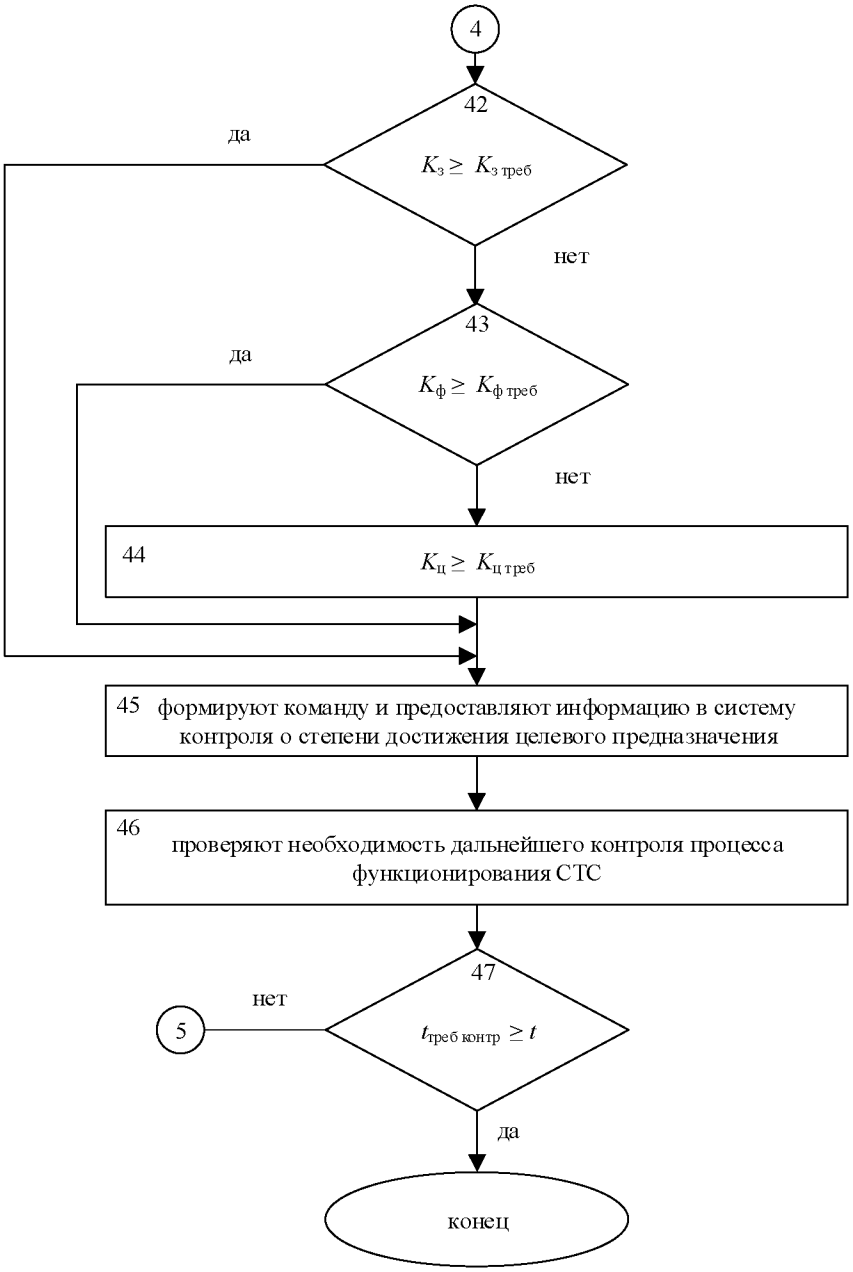



Рисунок 7.11 – Блок-схема алгоритма способа контроля процесса функционирования ИУС (окончание)

- показатели функционирования сетей телефонной сети связи (потери вызовов при передачи пакетов информации, отклонение от среднего значения задержки передачи пакетов информации, коэффициент потери пакетов информации, коэффициент ошибок в пакетах информации и др.);

- параметры анализа импульсных помех (максимальный на секундном интервале уровень импульсной помехи с подавлением сигнала; счет событий превышения уровнем импульсных помех порога; относительное время действия импульсных помех, превышающих порог и др.);

- параметры анализа перерывов связи (минимальный на секундном интервале уровень сигнала, счет перерывов связи с заданной длительностью и др.);

- показатели оценки устойчивости, надежности, живучести, помехоустойчивости, сетей.

Формируют в блоке управления задание на контроль функционирования ИУС (блок 5 рис. 7.11) и передают его на сканеры планировщик и сканер узла контроля.

Планировщик определяет физическую и функциональную структуру ИУС.

Для формирования структуры системы планировщик через сканер определяет ее состав (блок анализа элементов СТС 10) и наличие линий связи между элементами ИУС (блок анализа линий связи СТС 9) (блок 6 рис. 7.11), на основании чего в блоке формируется структура ИУС. Кроме этого, определяются состав элементов ИУС в блоке анализа технических средств элементов СТС и их возможности в блоке анализа возможностей технических средств элементов СТС, где определяют возможности технических средств по предоставлению ресурсов для ИУС и перечень параметров технических средств, которые характеризуют возможность системы предоставлять требуемый ресурс для выполнения целей, функций и задач, подлежащих контролю. Результаты формирования структуры ИУС записываются в реляционную БД.

Параллельно этому и независимо планировщик через сканер формирует функциональную структуру ИУС, для чего в блоке анализа целевого предназначения СТС определяют и запоминают целевое предназначение сложной ТС (блок 7 рис. 7.11), информация о котором поступает в блок определения времени проверки, выполнения и задействования (блок 11 рис. 7.11) и предоставляется в блок формирования функциональной структуры СТС, в блоке анализа требований, предъявляемых к СТС, определяются требования, предъявляемые к ТС (блок 7 рис. 7.11), информация о которых предоставляется в блок формирования функциональной структуры СТС, в блоке анализа целей СТС определяются цели ИУС (блок 7 рис. 7.11), информация о которых через блок определения последовательности выполнения целей (блок 8 рис. 7.11), где определяется последовательность выполнения, которая позволяет выполнять целевое предназначение системы, поступает в блок определения времени проверки, выполнения и задействования (блок 11 рис. 7.11) и предоставляется в блок формирования функциональной структуры СТС, в блоке анализа функций СТС определяются функции ИУС (блок 7 рис. 7.11), выполнение которых позволяет выполнить цели, информация о которых через блок определения последовательности выполнения функций (блок 8 рис. 7.11), где определяется последовательность выполнения функций, которая позволяет выполнять цели системы,

поступает в блок определения времени проверки, выполнения и задействования (блок 11 рис. 7.11) и предоставляется в блок формирования функциональной структуры СТС, а также в блок формирования вариантов задействования технических средств СТС для выполнения каждой функции (блок 10 рис. 7.11), в блоке анализа задач СТС определяются задачи ИУС (блок 7 рис. 7.11), выполнение которых позволяет выполнить функции ИУС, информация о которых через блок определения последовательности выполнения задач (блок 8 рис. 7.11), где определяется последовательность выполнения задач, которая позволяет выполнять функции системы, поступает в блок определения времени проверки, выполнения и задействования (блок 11 рис. 7.11) и предоставляется в блок формирования функциональной структуры СТС, а также в блок формирования вариантов задействования технических средств СТС для выполнения каждой задачи (блок 10 рис. 7.11),

в блоке анализа ресурсов СТС определяются перечень ресурсов ИУС (блок 7 рис. 7.11), наличие которых позволяет выполнить задачи ИУС, информация о которых через блок определения последовательности задействования ресурсов (блок 9 рис. 7.11), где определяется последовательность задействования ресурсов, которая позволяет выполнять задачи системы, поступает в блок определения времени проверки, выполнения и задействования (блок 11 рис. 7.11) и предоставляется в блок формирования функциональной структуры СТС, а также в блок формирования вариантов задействования технических средств СТС для выполнения каждой задачи, где в качестве ресурсов системы могут рассматриваться: финансовые, человеческие, информационные, материальные (техника), инфраструктура и т.д. [79].

При этом в блок формирования вариантов задействования технических средств СТС для выполнения каждой функции поступает информация с блока формирования вариантов задействования технических средств для выполнения каждой задачи.

Информация с блоков формирования вариантов задействования технических средств СТС для выполнения каждой задачи и формирования вариантов задействования технических средств ИУС для выполнения каждой задачи поступает в РБД, где ее запоминают.

В блоке определения времени проверки, выполнения и задействования (блок 11 рис. 7.10) определяют время начала и длительность выполнения каждой задачи, функции, цели, время начала и длительность интервалов использования каждого ресурса, информация, о чем передается в блок формирования регламента функционирования СТС, на вход которого поступает информация о сформированной функциональной структуре ИУС с блока формирования функциональной структуры СТС.

Кроме этого, информация о сформированной функциональной структуре ИУС

поступает на блок ранжирования, где осуществляют ранжирование задачи и функции по значимости для ИУС и контролируемых параметров по значимости для каждых задачи, функции, цели, информация о которых поступает из РБД (блок 16 рис. 7.11) [417].

Информация о ранжировании функций, задач, параметров, а также о регламенте функционирования ИУС из РБД поступает на блок управления, где задают перечень целей, функций и задач, выполняемых системой, которые подлежат контролю (блок 11 рис. 7.11), задают и запоминают время начала и длительность интервала проверки наличия и готовности к использованию каждого ресурса, задают и запоминают время начала и длительность интервала проверки готовности к выполнению каждой задачи и функции (блок 13 рис. 7.11), определяют перечень параметров технических средств, которые характеризуют возможность ИУС предоставлять требуемый ресурс для выполнения целей, функций и задач, подлежащих контролю (блок 14 рис. 7.11), определяют перечень параметров, характеризующих выполнение системой задач, функций и целей (блок 15 рис. 7.11), определяют интервал времени контроля каждого параметра, а также периодичность измерения параметров для каждой задачи, функции и цели, в зависимости от их значимости, вида контролируемой задачи, функции, условий функционирования (блок 17 рис. 7.11), выделяют одинаковые измеряемые параметры ИУС, характеризующие выполнение различных задач, выполняемых на пересекающихся отрезках времени (блок 18 рис. 7.11), для одинаковых измеряемых параметров, характеризующих выполнение различных задач, выполняемых на пересекающихся отрезках времени, выбирают наименьшую периодичность измерения контролируемых одинаковых параметров, характеризующих выполнение различных задач, выполняемых на пересекающихся отрезках времени (блок 19 рис. 7.10), определяют последовательность измерения параметров в любой момент времени функционирования системы, исходя из последовательности выполнения и значимости контролируемых задач, функций и целей, а также значимости параметров для каждых контролируемых задачи, функции и цели (блок 20 рис. 7.11).

Полученное с блока управления задание на контроль процесса функционирования СТС поступает на узел контроля, через сканер, который формирует запросы в ИУС и предоставляет информацию в узел контроля.

Информация со сканера поступает в блок контроля структуры СТС, где проверяется состав ИУС, состав элементов, наличие линий связи между элементами (блок 21 рис. 7.11), путем сравнения результатов запросов сканера и информации, выбираемой из РБД.

Информация со сканера поступает в блок контроля наличия готовности и задействования ресурсов, куда поступает информация из РБД.

В блоке проверяется готовность к использованию ресурсов для выполнения

требуемых задач (блок 22 рис. 7.11) в соответствии с определенной последовательностью задействования ресурсов ИУС, для чего измеряют значения параметров технических средств, характеризующих возможность системы по предоставлению ресурсов для выполнения задач СТС (блок 23 рис. 7.11, сравнивают измеренные значения параметров с критериями их оценки, записанными в БД (блок 24 рис. 7.11).

Определяют функции и цели, которые будут не выполненных из-за отсутствия возможности предоставить системой необходимый ресурс для выполнения задач (блок 25 рис. 7.11).

Проверяют все ли параметры, которые необходимо было измерить, измерили (блок 27 рис. 7.11), если нет, выбирают следующий параметр, характеризующий возможности системы по предоставлению ресурса (блок 28 рис. 7.11) и выполняют действия, представленные в блоках 23-26 рис. 7.11.

После измерения всех параметров, характеризующих возможность предоставления системой ресурса для выполнения задач, оценивают выполнение задач, функций, требований, целей и целевого предназначения системы (блок 29 рис. 7.11).

В блоке 31 оценивают выполнение задач ИУС для чего измеряют значения параметров, характеризующих выполнение задач (блок 30 рис. 7.11), сравнивают измеренные значения параметров с критериями их оценки (блок 31 рис. 7.11), записанными в БД, оценивают выполнение задач и определяют потребность системы в ресурсах для выполнения контролируемых задач (блок 32 рис. 7.11).

Проверяют все ли параметры, которые необходимо было измерить, измерили (блок 34 рис. 7.11), если нет, выбирают следующий параметр, характеризующий выполнение задач (блок 35 рис. 7.11) и выполняют действия, представленные в блоках 30-33 рис. 7.11.

В блоке 32 оценивают выполнение функций, для чего измеряют значения параметров, характеризующих выполнение функций (блок 30 рис. 7.11), сравнивают измеренные значения параметров с критериями их оценки, записанными в БД (блок 31 рис. 7.11), оценивают выполнение функций и определяют потребность системы в ресурсах для выполнения контролируемых функций (блок 32 рис. 7.11).

Проверяют все ли параметры, которые необходимо было измерить, измерили (блок 34 рис. 7.11), если нет, выбирают следующий параметр, характеризующий выполнение функций (блок 35 рис. 7.11) и выполняют действия, представленные в блоках 30-33 рис. 7.10.

После измерения всех параметров, характеризующих выполнение задач, функций и целей, в блоке 33 оценивают выполнение требований, предъявляемых к системе для чего измеряют значения параметров, характеризующих выполнение требований (блок 36 рис.

7.11), предъявляемых к ней, сравнивают измеренные значения параметров с критериями их оценки, записанными в БД, оценивают выполнение требований, предъявляемых к ней (блок 37 рис. 7.11).

Проверяют все ли параметры, которые необходимо было измерить, измерили (блок 39 рис. 7.11), если нет, выбирают следующий параметр, характеризующий выполнение требований к системе (блок 40 рис. 7.11) и выполняют действия, представленные в блоках 36-38 рис. 7.11.

После измерения всех параметров, характеризующих выполнение требований, предъявляемых к системе, в блоке 34 оценивают выполнение целей ИУС для чего измеряют значения параметров, характеризующих выполнение целей (блок 30 рис. 7.11), сравнивают измеренные значения параметров с критериями их оценки (блок 31 рис. 7.11), записанными в БД, оценивают выполнение целей и определяют потребность системы в ресурсах для выполнения контролируемых целей (блок 32 рис. 7.11).

Проверяют все ли параметры, которые необходимо было измерить, измерили (блок 34 рис. 7.11), если нет, выбирают следующий параметр, характеризующий выполнение целей (блок 35 рис. 7.11) и выполняют действия, представленные в блоках 30-33 рис. 7.11.

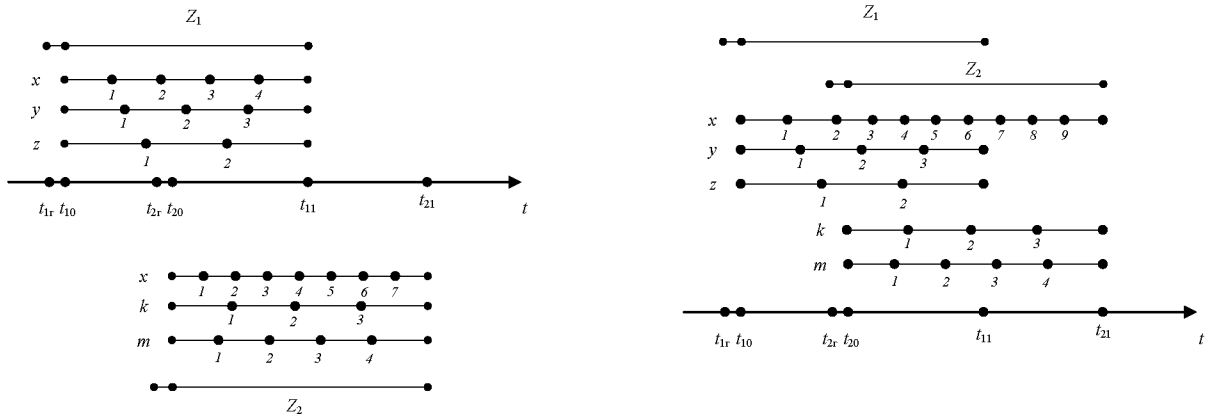
В блоке 34 оценивают достижение целевого предназначения системы (блок 41 рис. 7.11), для чего сравнивают количество выполненных и запланированных к выполнению задач (блок 42 рис. 7.11), функций (блок 43 рис. 7.11), целей (блок 44 рис. 7.11), при условии выполнения, предъявляемых к системе требований.

Результаты контроля (блоки 24, 31, 37, 42, 43 и 44 рис. 7.11) и сравнения параметров с критериями с блоков 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35 поступают в РБД, где запоминаются и на узел поддержки принятия решения через блок регистрации, анализа событий и обработки результатов контроля (блоки 26, 33, 38 и 45 рис. 7.11), где происходит обработка результатов контроля, информация о котором поступает в блок отображения информации и РБД, где обработанные результаты запоминаются.

Повторяют действия по контролю функционирования ИУС до момента прекращения ее функционирования или выполнения целевого предназначения, при этом проверяется необходимость дальнейшего контроля процесса функционирования (блок 47 рис. 7.11), для чего оценивают время функционирования системы или выполнение целевого предназначения (блок 48 рис. 7.11). Если целевое предназначение выполнено или система прекратила функционирование, то прекращают контроль, иначе продолжают контроль.

На рисунке 7.12 схемой формирования множества и последовательности контролируемых параметров, на примере контроля двух задач, поясняется уменьшения количества необходимых измерений контролируемых параметров. СТС. Для примера,

рассмотрено две задачи. Выполнение первой задачи, характеризуется следующими измеряемыми параметрами x, y и z, выполнение второй задачи – параметрами x, k и m. При этом, на каком-то временном отрезке происходит одновременный контроль выполнения обеих задач. Оптимальная частота измерения контролируемых параметров для каждой задачи может быть разная. Если выполнение обеих задач, характеризуется одинаковым параметром, то для пересекающегося отрезка времени выполнения двух контролируемых задач выбирают отрезки времени через которые происходит контроль одинакового параметра, соответствующий наименьшему отрезку времени. Как видно на рис. 7.12, измерение контролируемого параметра x для каждой задачи требует в сумме 11 измерений. При предложенном способе для двух задач для параметра x – 9 измерений.




Рисунке 7.12 – Схема формирования множества и последовательности контролируемых параметров для двух задач

Таким образом, за счет анализа количества задач, функций и целей и требуемого количества параметров для контроля их выполнения достигается сокращение количества измерений контролируемых параметров с оптимальной периодичностью. За счет уменьшения количества измерений контролируемых параметров уменьшается время задействования приборов, необходимых для измерения контролируемых параметров, а также уменьшается нагрузка на систему контроля, за счет уменьшения количества передаваемой информации о результатах контроля.

## 7.10. Способ мониторинга состояния ИУС АН

Наряду с контролем технических систем осуществляется мониторинг их состояния, который осуществляется измерением определенного ограниченного состава параметров

системы. Количество параметров контроля определяется требованиями к контролю и мониторингу, потребностями ЛПР, при этом, для полноты контроля измерения осуществляют для всех параметров и элементов системы постоянно, что является не рациональным. Это обуславливает необходимость поиска способов и методов оптимизации контроля системы и ее элементов. С одной стороны, это автоматизация процессов контроля и мониторинга системы, с другой, выбор оптимального количества параметров.

Недостатками известных способов контроля и мониторинга технических систем и средств [473, 464, 466] является ограниченность применения, избыточность параметров контроля, отсутствие учета связи между измеряемыми параметрами, а также значительные энергетические и вычислительные затраты на контроль и мониторинг систем.

Технической проблемой, на решение которой направлен предлагаемый способ, является высокая нагрузка на средства мониторинга, высокая нагрузка на сеть, обусловленная необходимостью передачи данных результатов измерений большого количества параметров; большое время, затрачиваемое на мониторинг, что приводит к увеличению времени реакции системы на отклонения значений измеряемых параметров от установленной нормы.

Техническая проблема решается за счет определения и учета зависимостей между параметрами, оценки и учета степени влияния каждого контролируемого параметра на показатели качества сети, установления и учета требований к точности измерительных приборов.

Техническим результатом изобретения является сокращение количества контролируемых параметров и количества измерительных приборов, необходимых для мониторинга текущего состояния сети, снижения нагрузки на средства мониторинга и средства, предназначенные для передачи массива с результатами измерений параметров.

Методика мониторинга состояния ИУС

Контроль и мониторинг распределенных в пространстве сложных технических системы являются сложной задачей. Это обусловлено необходимостью учета большого количества элементов и процессов в системе, а также измерению большого количества параметров и обработке множества данных. Все это приводит к высокой нагрузке на средства мониторинга, высокой нагрузке на ИУС, обусловленных необходимостью передачи данных результатов измерений большого количества параметров; большое время,

затрачиваемое на мониторинг, что приводит к увеличению времени реакции системы на отклонения значений измеряемых параметров от установленной нормы. При этом для выполнения системой своего целевого предназначения данные мероприятия необходимо выполнять, что обуславливает противоречие между необходимостью обеспечения выполнения целевого предназначения и использованию минимального ресурса для контроля и мониторинга состояния системы.

Данное противоречие обуславливает существование актуальной **научной задачи**, заключающейся в обеспечении устойчивого функционирования ИУС за счет реализации мероприятий мониторинга функционирования системы и выборе оптимального количества параметров контроля.

Решение задачи осуществляется за счет определения и учета зависимостей между параметрами, оценки и учета степени влияния каждого контролируемого параметра на показатели качества системы и ее элементов, установления и учета требований к точности измерительных приборов.

**Суть методики** заключается в определении степени влияния каждого элемента системы на нее, определении контролируемых параметров, позволяющих оценивать состояние элементов системы, и выбор таких параметров для системы контроля, измерение которых позволит знать состояние системы и влиять на процесс ее устойчивого функционирования.

**Показателем эффективности** является сокращение количества измерительных приборов и измеряемых параметров $P_F\left(F_{вып} \geq F_{треб} \middle| N \to \min,\ M \to \min,\ t_F \leq t_{треб}\right)$, где $F$ – эффективность функционирования ИУС, $N$ – количество измерительных приборов, $M$ – количество контролируемых параметров, на требуемом временном интервале $t_{\text{треб}}$ в процессе его функционирования.

**Исходными данными** в методике являются:

состав ИУС, включающий $G$ узлов и $L$ линий, и структура в виде графа $R = (G, L)$;

множество контролируемых параметров $M$, характеризующих состояния ИУС;

множество функциональных показателей качества ИУС $M_1$;

множество измерительных приборов, используемых в ИУС $N$;

требования к процессу функционирования ИУС.

**Критерием** оценки количество контролируемых параметров и количество измерительных приборов.

**Описание методики**

Рассмотрим работу методики, основные элементы которой представлены блок-

схемой (рис. 7.13).

На основе данных опыта предыдущей эксплуатации, а также требований, существующих ГОСТ (ОСТ) и других нормативных документов, регламентирующих требования к СТС формируют исходные данные (бл. 1, рис. 7.13).

В качестве исходных данных задают:

множество контролируемых параметров, характеризующих состояния ИУС,

множество элементов ИУС,

множество функциональных показателей качества ИУС,

критерии значимости каждого контролируемого параметра для каждого класса возможных состояний ИУС,

множество зависимостей между контролируемыми параметрами и функциональными показателями качества ИУС,

требования к классу точности измерительных приборов.

Требования к классу точности измерительных приборов контролируемых параметров определяется исходя из заданной точности к метрологической системе.

Формируют множество классов возможных состояний сети (бл. 2, рис. 7.13). Задание возможных классов состояний ИУС возможно исходя из результатов их моделирования, проектирования и производства, а также исходя из опыта их эксплуатации, например, сеть связи может обладать следующими состояниями: выключена, функционирует штатно, функционирует в час наибольшей нагрузки, функционирует под предкритической нагрузкой, находится в критическом состоянии (возможно восстановление), находится в закритическом состоянии (невозможно восстановление).

Формируют перечень всех контролируемых параметров объекта контроля (ИУС, ее элемента) (бл. 3, рис. 7.13).

Формируют измерительную систему (бл. 4, рис. 7.13), включающую множество измерительных приборов, необходимых для измерения множества контролируемых параметров.

Оценивают степень влияния каждого контролируемого параметра на показатели качества ИУС (бл. 5, рис. 7.13).

Строят вариационный ряд, размещая контролируемые параметры в нем по степени их влияния на показатели качества ИУС от менее влияющего до более влияющего. Пример построения вариационного ряда показан в [433] (бл. 6, рис. 7.13). Определяют зависимые друг от друга параметры (бл. 7, рис. 7.13).

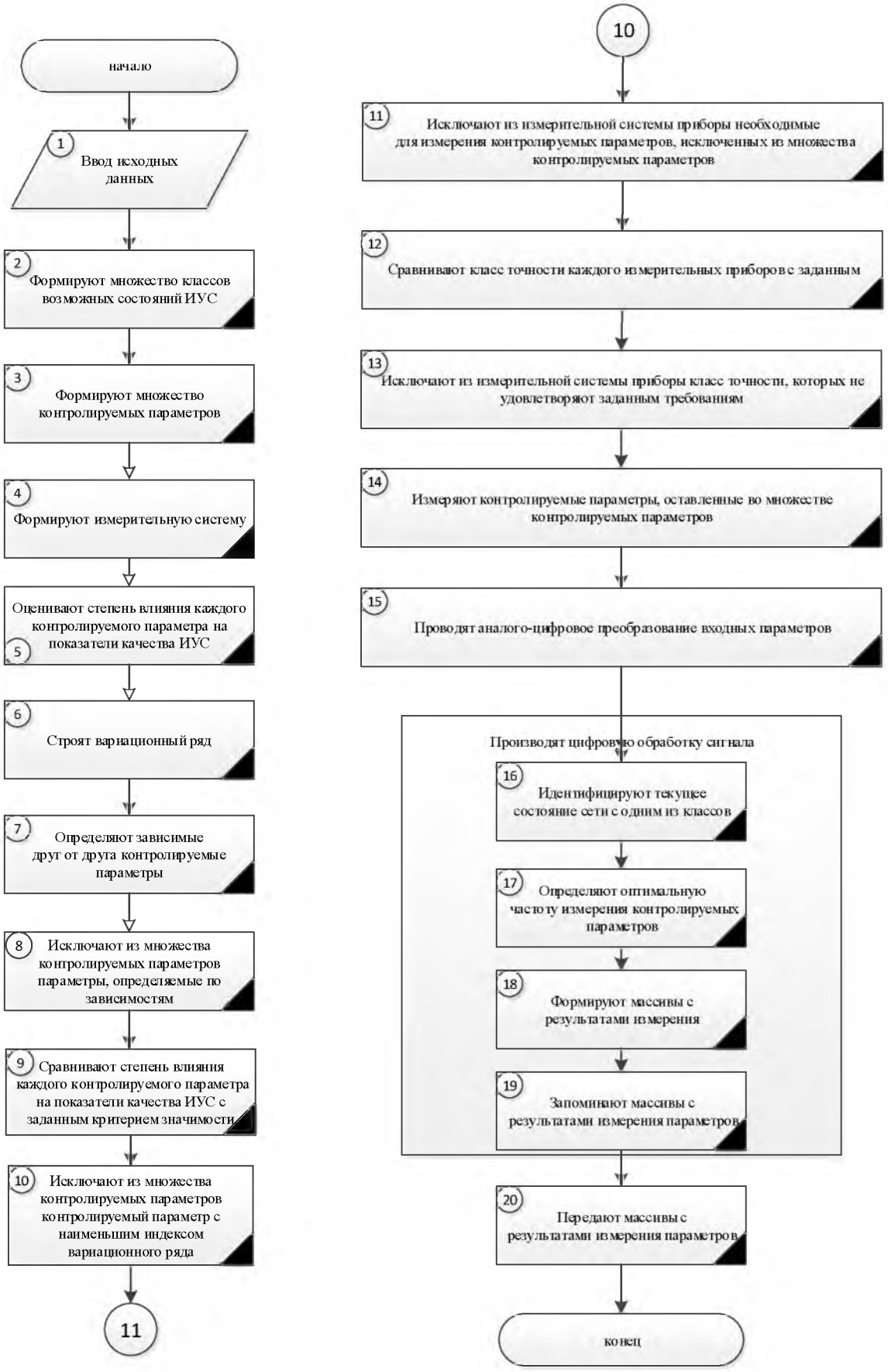



Рисунок 7.13 – Блок схема методики выбора требуемого количества измерительных приборов и измеряемых параметров

В этих целях может быть использовано множество зависимостей между контролируемыми параметрами, заданное в исходных данных.

Кроме того, зависимости одних контролируемых параметров от других могут быть определены при помощи корреляционного анализа.

Под корреляцией двух параметров понимается взаимная связь, взаимозависимость, соотношение рассматриваемых параметров, определения степени корреляции между величинами показан в [474-476]

Исключают из множества контролируемых параметров параметры, которые можно определить по заданным зависимостям, при этом для исключения выбирают параметр с наименьшим индексом вариационного ряда (бл. 8, рис. 7.13).

Сравнивают степень влияния каждого контролируемого параметра на показатели качества ИУС (бл. 9, рис. 7.13) с заданным критерием значимости.

Исключают из множества контролируемых параметров параметры, степень влияния которых на показатели качества ИУС меньше заданного критерия значимости (бл. 10, рис. 7.13).

Исключают из измерительной системы приборы, необходимые для измерения контролируемых параметров, исключенных из множества контролируемых параметров (бл. 11, рис. 7.13).

Сравнивают класс точности каждого измерительного прибора с заданным классом точности (бл. 12, рис. 7.13).

Исключают из измерительной системы приборы, класс точности которых не удовлетворяет заданному классу точности (бл. 13, рис. 7.13).

Производят измерение контролируемых параметров, оставленных во множестве контролируемых параметров (бл. 14, рис. 7.13).

Производят аналого-цифровое преобразование входных параметров (бл. 15, рис. 7.13).

Производят цифровую обработку сигналов (бл. 16-20, рис. 7.13), а именно:

идентифицируют текущее состояние ИУС с одним из классов с использованием любого из известных методов анализа, данных (бл. 18, рис. 7.13) [477-480];

определяют оптимальную частоту измерения контролируемых параметров для текущего состояния ИУС (бл. 17, рис. 7.13), как показано в [466];

формируют массивы с результатами измерений параметров (мониторинга) (бл. 18, рис. 7.13);

запоминают массивы с результатами измерений параметров (мониторинга) (бл. 19, рис. 7.13).

Передают массивы с результатами измерений параметров (мониторинга) (бл. 20, рис. 7.13).

Таким образом, за счет определения и учета зависимостей между параметрами, оценки степени влияния каждого контролируемого параметра на показатели качества ИУС, установления и учета требований к точности измерительных приборов достигается обоснованное сокращение множества контролируемых параметров, сокращение количества измерительных приборов, снижается нагрузка на средства мониторинга и ИУС, предназначенные для передачи массивов с результатами измерений.

## 7.11. Программный комплекс обеспечения функциональной устойчивости объектов ИУС АН

Контроль процесса функционирования ИУС включает необходимость работы с большим количеством датчиков, приборов и т.д., а также обработку значительного объема данных. Все это определяет необходимость использования мощных ЭВМ, а также разработки программного обеспечения, позволяющего обеспечить процесс устойчивого функционирования системы. В разделе рассмотрим программный комплекс обеспечения устойчивого функционирования ИУС (рис. 7.14), основанный на формировании и работе с базами данных [481-492].

Ядром программного комплекса выступают базы данных и базы знаний, позволяющие аккумулировать данные и знания, получаемые из системы, обработка которых позволяет делать выводы о текущем и последующих состояниях системы и ее элементов. Для получения данных о состоянии системы и ее элементов проводятся измерения параметров элементов системы, которые характеризуют устойчивость их функционирования. В дальнейшем полученные данные используются для определения текущего состояния системы и способности ею выполнить свое текущее предназначение.

Текущее предназначение системы определяется лицами, принимающими решение, в том числе, на основе административных документов, используемых в системе. Основным предназначением ЛПР является определение вектора функционирования системы и загрузка данных в систему. Перечень целей, функций, задач, ресурсов системы и другие

формализованные данные заносятся в базу данных. ЛПР осуществляют ввод требуемого перечня задач системы в «Программном средстве формирования данных и построения модели процесса функционирования системы». В программном средстве осуществляется обработка вводимых данных анализ ресурсного обеспечения, имеющегося в системе и записанного в БД. Полученные данные предоставляются в «Программное средство работы планировщика».

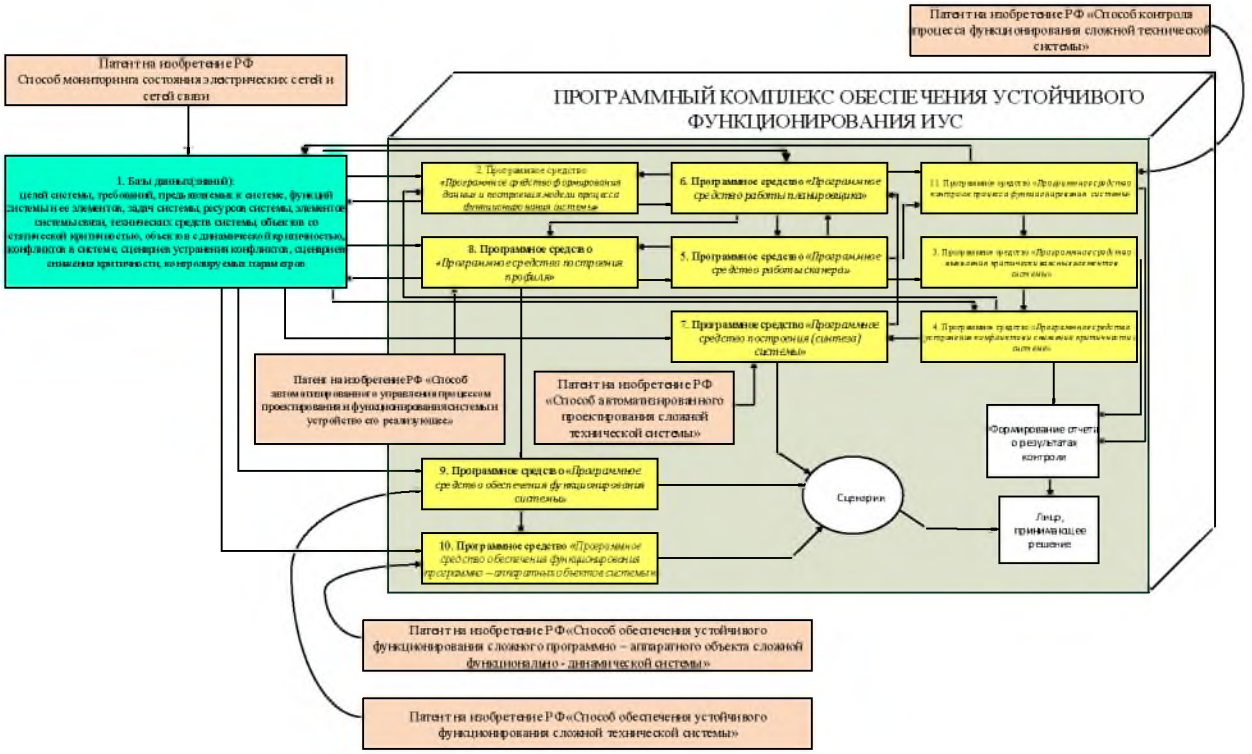



Рисунок 7.14 – Программный комплекс обеспечения устойчивого функционирования ИУС

Планировщик осуществляет планирование работы системы, направленной для выполнения ее целевого предназначения. Здесь определяется перечень целей системы, достижение которых позволит выполнить целевое предназначение системы, функций системы, выполнение которых обеспечивает выполнение целей системы, задач, позволяющих выполнить функции системы, ресурсы необходимые для выполнения целевого предназначения, требований которым должны соответствовать выполняемые цели, функции, задачи, а также процесс функционирования ресурсов системы. Результаты работы планировщика поступают в «Программном средстве формирования данных и построения модели процесса функционирования системы», где осуществляется моделирование выполнения целевого предназначения системы.

Данные о задействовании ресурсов системы для выполнения ее целевого

предназначения поступают в «Программное средство контроля процесса функционирования системы». Программное средство выполняет контроль физической составляющей системы, определяемой ее элементами и техническими средствами. Контроль осуществляется путем измерения параметров, характеризующих функционирование того или иного элемента системы. Перечень параметров, характеризующих устойчивое функционирование каждого элемента, ресурса системы содержится в ячейках базы данных контролируемых параметров системы. Результаты контроля записывают в базу результатов контроля по каждому ресурсу системы. Кроме этого, программное средство, используя требования, предъявляемые к системе, ее ресурсам, а также критерии оценки устойчивого функционирования ресурса системы, определяет способность использования ресурса для выполнения целевого предназначения системы путем сравнения полученных в процессе контроля значений параметров ресурсов, определяющих их устойчивое функционирование, со значениями, предъявляемыми требованиями.

Кроме этого, данные о потребности в выполнении целевого предназначения системы поступают в «Программное средство работы сканера» и «Программном средстве построения профиля». На основании результатов моделирования способности имеющимся ресурсом выполнить целевое предназначение системы осуществляется построение профиля функционирования системы в «Программном средстве построения профиля», который показывает способность системы выполнить свое целевое предназначение. В процессе контроля системы формируется профиль процесса функционирования системы. Первый профиль определяет план функционирования системы, второй – текущее состояние системы, способность ее выполнить план. Контроль выполнения профиля осуществляется в «Программном средстве работы сканера».

Сканер на основе контроля ресурсов системы и соответствия их требования, определяет возможность их использования для выполнения целевого предназначения системы, определяет возможность выполнения элементов профиля функционирования системы (задачи, функции, цели, требования к системе) в любой момент функционирования системы, а также позволяет оценивать на основе профиля функционирования при нарушении сроков и качества выполнения текущих элементов профиля функционирования системы выполнение каких элементов в последующем будет затрудненно или выполнить которые будет невозможно. Результаты работы сканера поступают в планировщик для определения необходимости перестроения профиля функционирования системы, если система выполнить его не может или не сможет. Данные о порядке проведения контроля процесса функционирования системы поступают в «Программное средство контроля

процесса функционирования системы». Результаты контроля состояния системы и выполнения профиля функционирования системы поступают в «Программное средство выявления критически важных элементов системы».

Анализ профиля функционирования системы, позволяет выявлять критически важные элементы системы для данного целевого предназначения, выполняемого профиля функционирования – плана. Поиском таких элементов занимается «Программное средство выявления критически важных элементов системы». Критичность того или иного элемента системы будет определяться последствиями нарушения его функционирования для профиля функционирования системы.

Выявленные в сканере конфликты между профилем функционирования системы и профилем процесса функционирования системы устраняются в «Программном средстве устранения конфликтов и снижения критичности ее элементов». Информация сюда поступает из «Программное средство выявления критически важных элементов системы» и БД о состоянии системы, результатах планирования, работы сканера и контроля процесса функционирования системы. Здесь анализируется наличие конфликтов профиля (плана) и процесса функционирования ИУС. Устранение конфликтов определяется перераспределением элементов профиля, используемых для выполнения одиночных и групповых профилей в системе. Снижение критичности элементов системы осуществляется формированием вариантов резервирования ресурса, а также определением перечня ресурсов, которые могут быть использованы для выполнения задач, выполняемыми критически важным элементом. Для устранения конфликтов и снижения критичности элементов системы осуществляется выбор из БД требуемого у системы ресурса, который может быть использовать для устранения возникшего конфликта или снижения критичности элементов системы.

В программном средстве на основании ресурсного обеспечения системы формируется множество сценариев устранения конфликта или снижения критичности, которые поступают в «Программное средство формирования данных и построения модели процесса функционирования системы», где осуществляется моделирование полученных сценариев, оценка эффективности их выполнения, а также ранжирование. Полученные данные после моделирования поступают в БД, информация о наиболее эффективном сценарии из которой поступает в «Программное средстве устранения конфликтов и снижения критичности ее элементов», где осуществляется выбор данного сценария, и отправка его в «Программное средство построения (синтеза) системы». В последующем при возникновении конфликта на уже реализованном сценарии выбор другого (следующего) сценария осуществляется из базы данных, выполнение которого

осуществляется с наибольшей эффективностью.

«Программное средство построения (синтеза) системы» осуществляет реализацию на системе выбранного сценария устранения конфликта или снижения критичности. Информация о реализованном сценарии поступает ЛПР и в «Программное средство работы планировщика, для дальнейшего планирования процесса контроля и обеспечения функционирования системы».

Одним из элементов современных технических систем является различные программные и программно-аппаратные средства. «Программное средство обеспечения функционирования программно-аппаратного объекта (ПАО)» системы позволяет выявлять нарушения функционирования ПАО и обеспечивать их устойчивое функционирование.

Информация с «Программного средства построения профиля функционирования», БД о ресурсном обеспечения системы поступает в «Программное средство обеспечения функционирования системы» где анализируется возможность выполнения профиля и его элементов имеющимся в системе ресурсом.

Результаты контроля в виде объемов данных предоставляются ЛПР.

Использование предлагаемого подхода оценки и обеспечения функциональной устойчивости позволяет выполнить от 80 % до 90 % не критических для системы задач и 100 % критических задач системы. Результаты использования программного комплекса и моделирования процесса функционнирования ИУС показаны на рисунке 7.15.

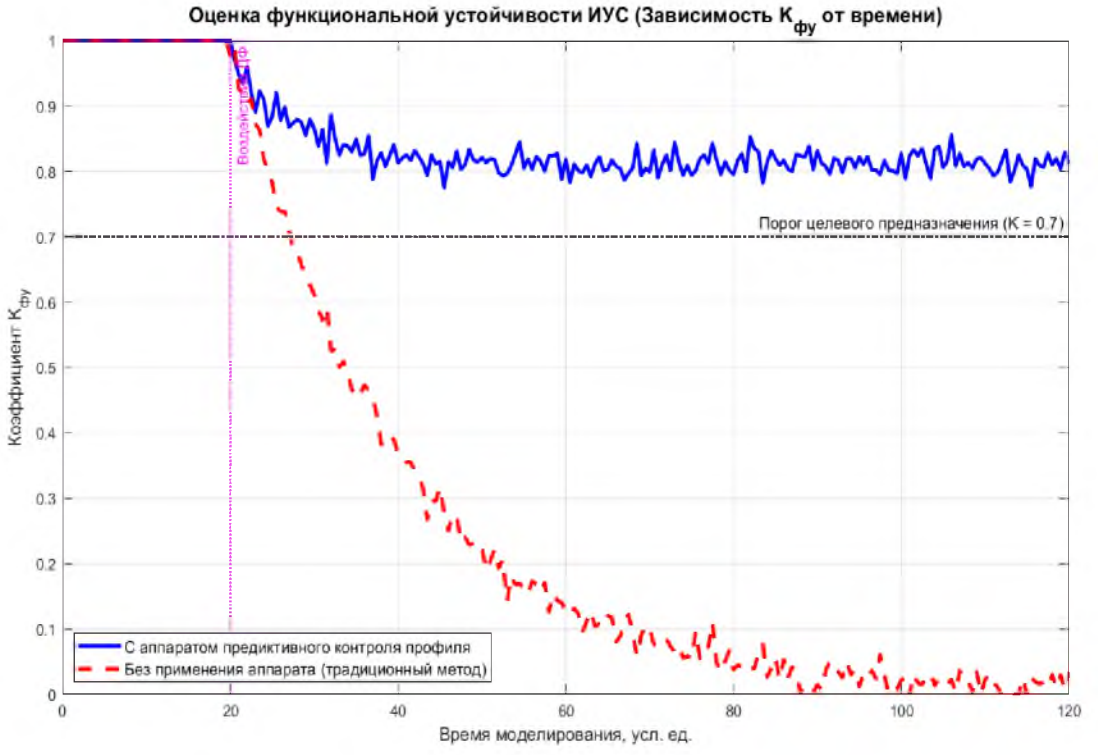



Рисунок 7.15 – Результаты оценки коэффициента ФУ при моделировании процесса функционирования ИУС

Количественная оценка способности системы выполнить заданный набор задач показана на рисунке 7.16. В процессе функционирования системы из-за воздействия дестабилизирующих факторов происходит нарушение выполнения задач системы, часть из которых обладает статической критичностью, а часть динамической. Своевременное обнаружение и реакция системы на нарушение выполнения задач позволит обеспечить выполнение до 90% не критичных и до 100% критически важных задач.

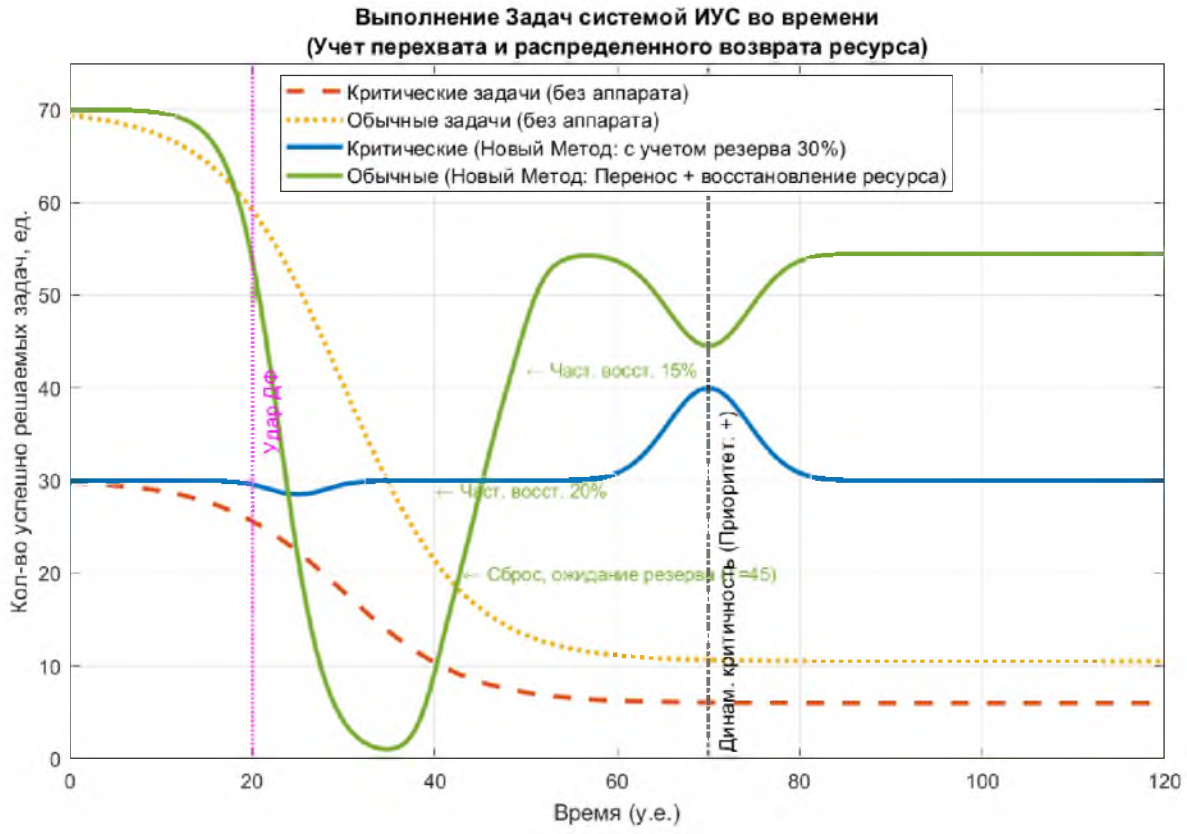



Рисунок 7.16 – Результаты оценки выполнения ИУС возложенных на нее задач

## 7.12. Оптимизация выбора ресурсного обеспечения для выполнения элементов профиля функционирования системы

Процесс функционирования ИУС в режиме реального времени сопряжен с наступлением событий нарушения этого процесса [319, 493]. Современные системы функционируют в сложных постоянно меняющихся условиях, при этом состояние самой системы и ее элементов также носит случайных характер. Динамика изменения условий очень высокая, при этом критичность отдельных систем, объектов и элементов определяет необходимость системы быстро обнаруживать, реагировать и устранять возникающие в системе конфликты, обусловленные противоречием между наступлением событий,

нарушающих функционирование системы и ее элементов и потребностями в их устойчивом функционировании [334, 341]. Возникает задача обеспечения устойчивого функционирования системы, решение которой возможно за счет реализации адекватных управленческих решений, причем процесс управления требует автоматизации, из потребности в своевременности реагирования на возникающие конфликты.

В процессе реализации управленческих решений осуществляется распределение и перераспределение ресурсов системы для выполнения требуемого целевого предназначения, при этом время необходимое для выявления и реакции системы на процесс ее функционирования должно стремиться к нулю, что требует построения качественно новых интегрированных систем контроля и мониторинга, позволяющих не только выявлять конфликт в системе, но и предвидеть его наступление [270, 320, 371]. Для контроля и мониторинга состояния системы и определения способности ее выполнить свое целевое предназначение предлагается использовать профиль функционирования системы, характеризующий ее способность выполнить целевое предназначение [301, 302].

Обнаружение нарушения функционирования, под которым в работе понимается состояние системы, характеризуемое неспособностью ею или ее элемента выполнить возложенные на них функции и задачи, независимо от причин при которых система перешла в это состояние, приводит к необходимости поиска условий перераспределения ресурса системы для выполнения ее целевого предназначения, а также реализации действий направленных на принятие решения о проведении таких действий направленных на переход системы в функционально устойчивое состояние.

В процессе функционирования ИУС переходит из состояния в состояние из-за воздействия на нее различных ДФ. В процессе формирования профиля каждый ее элемент может быть разбит на подцели, подфункции, подзадачи, а также дополнительно иметь главную цель, характеризующую ее целевое предназначение. В качестве ресурса выступают персонал, технические средства системы, а также производные их функционирования, образования связей между элементами системы, поэтому предлагается рассматривать ресурсы первого рода – персонал и отдельные технические средства, ресурсы второго рода – результаты деятельности персонала, их характеристики (квалификация, навыки и т.д.) и результаты функционирования технических средств, образования связей между элементами (количество каналов связи, которые они могут предоставить, их характеристики, пропускная способность направлений, линий связи, емкость сети (количество средств и абонентов в сети), и т.д.). При этом, в системе часть ресурса, не задействованная в выполнении профиля функционирования системы выводится в резерв, который расходуется по мере необходимости, может предоставляться ресурс

других систем, кроме этого существуют ситуации отсутствия возможность пополнения ресурса, что способствует возрастанию критичности самой системы и ее ресурсов для выполнения целевого предназначения. В случае ограниченности ресурса должно учитываться критичность элементов системы и их обеспеченность при формировании профиля и перераспределении ресурса. Системы, в которых существует неограниченное ресурсное обеспечение, как правило, являются некритичными.

Профиль представляет собой набор матриц, характеризующих структуру системы и процесс функционирование системы [494].

Каждая матрица ПФС является бинарной, для которой $b_{ij} \in \{0, 1\}$, причем

$$b_{ij} = \begin{cases} 1, \text{если элемент имеется} \\ 0, \text{если элемент отсутствует.} \end{cases}$$

Формируемый ПФС будет адекватным если для матриц задействования ресурсов, выполнения задач, функций, требований и целей существует такая подстановка μ, для которой диагональное произведение элементов каждой из матриц окажется не нулевым:

$$\exists \mu_k : \prod_{i=1}^{n} b_{i,\mu_k} \neq 0, i \in (1,2,\ldots,n), k \in (1,2,\ldots,n!),$$

где $n$ – количество профилей.

Перманент матриц ПФС порядка $n$ определяется следующим образом:

$$perY = \sum_{\mu} b_{1,\mu_k} \cdot b_{2,\mu_k} \cdot \ldots \cdot b_{i,\mu_k} \exists \mu_k : \prod_{i=1}^{n} b_{i,\mu_k} \neq 0, i \in (1,2,\ldots,n), k \in (1,2,\ldots,n!).$$

Перманент матрицы есть сумма диагональных произведений, задаваемых множеством подстановок $\mu_k$.

Формируемый для ИУС ПФС будет выполнимым, если для всех матриц профиля существует хотя бы один вариант выполнения всех и каждого одиночных, групповых профилей, входящих в ПФС, при отсутствии пересечения по времени задействования ресурсов для их выполнения:

$$\exists b_{i,\mu_k} = 1, \forall i \in (1,2,\ldots,n), \forall k \in (1,2,\ldots,n!) | t \neq t_i .$$

Состояние системы, описывающее профиль функционирования системы, можно рассматривать как функционально устойчивое, если для каждого элемента профиля существует, хотя бы один вариант его выполнения.

Система называется абсолютно устойчивой, если в результате нарушения ее функционирования она способна перейти в состояние $s_{i+1} \in S$. При этом множество устойчивых состояний $S$ состоим из элементов, удовлетворяющее условиям:

$$S = \{s_i(A), \lim_{t_\phi \to \infty} \lim_{r \to \infty} \lim_{F_\Phi \to \infty} f(x) =$$

$$= A\left| x = \frac{F_{\text{ф}}(r,t)}{F_{\text{ф треб}}}, \frac{t_{\text{ф}}}{t_{\text{ф треб}}} \to 1, r \in E, \forall i \in (1,2,\ldots,n), \forall j \in (1,2,\ldots,m) \right\}.$$

Любое состояние системы называется условно устойчивым, если в результате воздействия на нее различных дестабилизирующих факторов система способна выполнять свое целевое предназначение, однако нарушается качество выполнения одной и более задач или функций, при этом система переходит из состояния $s_i \in S$ в состояние $s_{v+1} \in S_{\text{уу}}$. Множество $S_{\text{вц}} = S \cup S_{\text{уу}}$ включает состояния системы в которых оно способна выполнить целевое предназначение. При этом, множество условно устойчивых состояний $S_{\text{уу}}$ состоит из элементов, удовлетворяющее условиям:

$$S_{yy} = \{s_v(A), \lim_{t_{\phi} \to \infty} \lim_{r \to \infty} \lim_{F_{\text{ф}} \to \infty} f(x) =$$

$$= A\left| x = \frac{F_{\text{ф}}(r,t)}{F_{\text{ф треб}}}, \frac{t_{\text{ф}}}{t_{\text{ф треб}}} \to 1, r \in E, \exists F_{c\text{ф}} Q(F_{c\text{ф}}) \notin Q(F_{c\text{ф треб}}), \right.$$

$$\left. \exists Z_{q\text{ф}} Q(Z_{q\text{ф}}) \notin Q(Z_{q\text{ф треб}}) \forall i \in (1,2,\ldots,n), \forall j \in (1,2,\ldots,m) \right\}.$$

Состояние системы называется функционально неустойчивым, если оно характеризуется невыполнением функций, задач, целей, требований, предъявляемых к системе и ее элементам, в любой момент времени, либо нарушением выполнения целевого предназначения.

В дальнейшем в работе под множеством функционально устойчивых состояний ИУС будем понимать объединение множеств абсолютно и условно устойчивых состояний системы.

## Постановка задачи на оптимизацию ресурса для выполнения профиля функционирования ИУС

Рассмотрим систему, состоящую из определенного, ограниченного набора элементов $N$. При этом, система состоит из набора ресурсов, располагающихся на элементах системы и позволяющих функционировать, т. е. определенный и ограниченный набор задач. Матрица задач $\boldsymbol{Y}_Z=\{y_{Zi,j}\}$ и матрица ресурсов $\boldsymbol{Y}_E=\{y_{Ei,j}\}$ позволяют сформировать матрицу выполнимости задач $\boldsymbol{Y}_{E\text{-}T}=\{y_{Ei,j}\}$. Сумма всех ресурсов системы определяет способность системы выполнить целевое предназначение и определяет условия ее синтеза

$$E = \sum_{i=1}^{q} \sum_{j=1}^{m} r_{ij}, 0 \le E \le qm, r_{ij} \in \{0,1\}.$$

Способность выполнить каждую $q$-ю задачу $Z_q$ требует выделения $r_{ij}$ ресурса. Каждой задаче $Z_q$ поставим в соответствие характеристику качества ее выполнения $w_{ij}$, совокупность которых формируют множество $W$, при этом $W = \{w_1, w_1, \ldots, w_i\}$, тогда матрица характеризующая качество функционирования ИУС будет иметь вид $\mathbf{Y}_W=\{y_{Wi,j}\}$.

Предположим, что для выполнения целевого предназначения системы необходимо выполнить ограниченное и конечное число целей, функций и задач на ограниченном интервале времени. Как было сказано выше, результатом выполнения каждой функции является выполнение определенного набора задач, выполнения цели – набора функций, выполнения целевого предназначения – набора целей, при этом выполнение каждой задачи определяется готовностью и предоставлением ресурса для ее выполнения. Формальное описание целей, функций, задач можно представить в виде элементарных конъюнкций:

$$A = \bigcap_F F_i, F_i \in F, i \in \{1,2,\ldots, c\},$$

$$F = \bigcap_Z Z_i, Z_i \in Z, i \in \{1,2,\ldots, q\},$$

$$Z = \bigcap_E r_i, r_i \in E, i \in \{1,2,\ldots, m\}.$$

В результате воздействия дестабилизирующих факторов может происходить нарушение процесса функционирования системы, обусловленное снижением качества выполнения задач, функций и целей, а также нарушением функционирования или выходом из строя отдельных элементов ИУС, приводящих к отсутствию или невозможности использования ресурсов системы. Нарушение процесса функционирования может привести к деградации системы, обусловленной изменение функционально-структурного состава системы. Имеющиеся механизмы синтеза системы должны способствовать выполнению системой своего целевого предназначения с требуемым качеством за счет перераспределения ресурсов, задач, функций и целей системы, а также изменения структуры ИУС, т. е.

$$W_{Z_i} \geq W_{Z_i\_\min} \geq W_{Z_i\_\text{треб}}, \text{ при } E \geq E_{\min} \left| k_{Z_{\text{крит}}} = 1, k_{E_{\text{крит}}} = 1, \right.$$

где $k_{Z_{\text{крит}}}$ – коэффициент выполнения критически значимых задач, определяемый как $k_{Z_{\text{крит}}} = \dfrac{Z_{\text{крит вып}}}{Z_{\text{крит треб}}}$, $k_{E_{\text{крит}}}$ – коэффициент наличия и задействования критически значимых ресурсов, для выполнения задач, определяемый как $k_{E_{\text{крит}}} = \dfrac{E_{\text{крит вып}}}{E_{\text{крит треб}}}$.

При снижении количества ресурсов, необходимых для выполнения целевого предназначения системы, ниже минимального требуемого уровня, а также при снижении качества их выполнения принимается решение о невыполнении системой той или иной задачи, функции или цели.

Потребность системы, лиц, принимающих решение, в выполнении определенного целевого предназначения, количество, тип и качество ресурсов, характеризующий возможности системы по выполнению того или иного целевого предназначения ИУС, определяются структурой системы на всем множестве состояний системы в условиях воздействия различных дестабилизирующих факторов. Возникает потребность оптимизации системы с одной стороны оптимизация структуры системы, позволяющая выбрать такой вариант построения ИУС, который позволил бы предоставить в распоряжение системы максимально большой объём ресурсов, необходимых для выполнения целевого предназначения системы, а с другой стороны обеспечить распределение этого ресурса для выполнения задач, функций и целей системы, т.е. выполнения целевого предназначения.

Постановка задачи

Рассмотри ИУС, состоящую из множества элементов, позволяющих выполнить ее целевое предназначение. Система описывается совокупностью частных критериев оптимальности $W_{\Sigma} = \{W_1, W_2, \ldots, W_i\}$, характеризующих качество выполнения таких элементов профиля функционирования ИУС. Каждый из элементов имеет различное значение для системы. Предположим, что требуется максимизация каждого такого критерия в одной и той же области допустимых значений.

Критерий оценки оптимальной структуры системы будет иметь вид:

$$\max\left(\sum_{k_{дi}} W_{i\Sigma}(k_{дi})\right), \text{при } \min(E), i \in (0, E),$$

где $W_{i\Sigma} = \sum_{j=1}^{J} k_j W_j$ – линейная взвешенная сумма, определяющая величину качества выполнения элемента профиля функционирования ИУС, $k_j$ – коэффициент значимости элемента профиля, функции, цели системы, элемента профиля функционирования ИУС, $J$ – количество элементов профиля функционирования, $W_j$ – качество выполнения j-го элемента профиля функционирования ИУС, $k_д$ – степень деградации ИУС (профиля функционирования) в процессе ее функционирования.

Необходимо найти такую структуру ИУС, позволяющую предоставить системе минимальное количество ресурсов, необходимых для ее функционирования, для которой

на всем множестве устойчивых состояний ИУС будет выполняться условие максимума качества выполнения, требуемого множества задач, функций, целей, при воздействии на ИУС различных дестабилизирующих факторов, воздействие которых может привести к нарушению функционирования ИУС.

Физический смысл коэффициента значимости заключается в влиянии данного элемента на выполнение целевого предназначения системы, профиля функционирования и функций и задач других элементов профиля функционирования.

## Оптимальное распределение ресурсов в ИУС

Для формального описания процесса функционирования ИУС предлагается использовать теорию графов и теорию матриц. Рассмотрим граф ИУС, концептуально описывающий процесс ее функционирования. Целевое предназначение проектируемой системы достижимо за счет выполнения целей системы, каждая из которых выполняется за счет выполнения функций, каждая из которых выполняется за счет выполнения задач, выполнение которых осуществляется за счет ресурсов системы. Граф $G(V, L; W)$, где $V = \{v_1, v_2,\ldots, v_i\}$ – множество вершин характеризующих элементы процесса функционирования СТС, $L = \{l_1, l_2,\ldots, l_i\}$ – множество дуг, соответствующим переходам между элементами графов – их вершинами, $W = \{w_1, w_1, \ldots, w_i\}$ – множество весов дуг, характеризующих качество выполнения целей, функций, задач (профилей функционирования ИУС), описывает многоуровневую иерархическую систему и является составным. Данный граф может быть декомпозирован на составные подграфы, характеризующие уровни функционирования ИУС. Каждой дуге присваивается соответствующий вес, характеризующий качество ее выполнения. Кроме этого каждой вершине присваивается категория значимости. Для определения категории значимости учитывается влияние каждой цели на выполнение целевого предназначения и другие цели, выполнение каждой функции на достижение целей и другие функции, выполнение задачи на выполнение функций и другие задачи.

Определение на каждом графе $G(V, L; W)$, характеризующем выполнение цели, функции, задачи, возможности их выполнения определяется поиском всех возможных маршрутов перехода в вершины графа, характеризующих ту или иную задачу, функцию, цель. Качество выполнения каждых задачи, функции, цели будет определяться маршрутами достижения данной вершины, при этом максимальным оно будет для маршрута с наибольшей суммой весов $W$. Каждый возможный маршрут будет описывать возможный сценарий выполнения того или иного профиля функционирования ИУС, при этом

количество таких маршрутов будет обусловлено ресурсным обеспечением системы, типом и структурой каждого профиля. Наличие более чем одного маршрута достижения каждой вершины, независимо от уровня ее нахождения определяет возможности системы по выполнению того или иного профиля, а также возможности синтеза системы в случае нарушения (пропажи, отказа) ресурса, используемого в наиболее предпочтительном варианте его выполнения.

В зависимости от количества и качества ресурсов, появления новых и пропажи старых ресурсов в системе будет осуществляться перераспределение задач, функций, целей, может осуществляться реконфигурация (синтез) структуры системы.

Нахождение наиболее эффективного варианта выполнения задачи, функции, цели можно свести к задаче о наибольшем потоке [495]. Алгоритм поиска будет иметь следующие этапы:

1. Рассмотрим систему, достижение целевого предназначения которой определяется выполнением заданного набора задач

$$Z = \{Z_1, Z_2, Z_3\},$$

$$Z_1 = r_1 \otimes r_2 \otimes r_3,$$

$$Z_2 = r_4 \otimes r_5 \otimes r_6 \otimes r_7,$$

$$Z_3 = r_8 \otimes r_9 \otimes Z_1,$$

2. Граф $G(V, L; W)$ описывается матрицей инциденций $Y = |a_{ij}|_{q \times m}$.

3. Выбираем случайным образом $i$-ю вершину на графа и по матрице $Y$ находим дуги, инцедентные этой вершине, которые принадлежат множеству $L_{r1}$, $L_{r1} \in L$. Такие элементы будут иметь единицу в $i$-й строке матрицы.

4. Из множества полученных вершин, в которые можно попасть из $i$-й вершины, находим такие вершины в которые можно попасть из этих вершин, при этом полученные дуги, соответствующие значению 1 в матрице $Y$, принадлежат множеству $L_{r2}$, $L_{r2} \in L$.

5. Пункты 3 и 4 выполняются для всех возможных вершин и путей до достижения $i$-й вершины, для которой полученные дуги, например, как для первой задачи, принадлежат множеству $L_{r3}$, $L_{r3} \in L$.

6. Формируется множество маршрутов выполнения каждой задачи ИУС, которые выступают в качестве множества сценариев, характеризующих способность системы выполнить задачу.

7. Для каждого сценария вычисляется значение W

$$W_{Z_1} = W_{r1}^* + W_{r2}^* + W_{r3}^* = k_{r1}\left(W_{r1}\right)_i + k_{r2}\left(W_{r2}\right)_j + k_{r3}\left(W_{r3}\right)_q,$$

$$W_{Z_2} = W_{r4}^* + W_{r5}^* + W_{r6}^* + W_{r7}^* = k_{r4}\left(W_{r4}\right)_i + k_{r5}\left(W_{r5}\right)_j + k_{r6}\left(W_{r6}\right)_q + k_{r7}\left(W_{r7}\right)_n,$$

$$W_{Z_3} = W_{r8}^* + W_{r9}^* + W_{Z_1} = k_{r8}\left(W_{r8}\right)_i + k_{r9}\left(W_{r9}\right)_j + W_{Z_1},$$

где $k_{r_i}$ – коэффициент значимости $i$-й вершины графа $G(V, L; W)$, $i$, $j$, $q$, $n$ – индексы, характеризующие количество дуг для каждой рассматриваемой в пунктах 3-5 вершин.

Для определения значимости той или иной вершины можно использовать множество известных методов, представленных в [363, 373].

8. Для каждой задачи определяется максимальное значение эффективности ее выполнения путем сравнения эффективностей, характеризующих каждый сценарий.

В отечественной и зарубежной литературе [496, 497] даны различные по своей сути определения эффективности. Г. Б. Петуховым был введен показатель эффективности, рассматриваемый как вероятностная мера соответствия характеристик случайных эффектов целенаправленного процесса требуемым (директивно заданным) значениям этих характеристик [498].

Эффективность функционирования системы определим, как комплексное свойство, характеризующее степень достижения системой целевого предназначения (цели, функции, задачи), определяемого требованиями, предъявляемыми к нему (ним) [343, 498]. Поиск оптимальной структуры профиля сводится к поиску множества матриц, характеризующих, достижение целевого предназначения системы, соответствующее выполнению условия оптимальности. В условиях ограниченности ресурса и необходимости реализации целевого предназначения системы, при выборе оптимальной структуры ИУС можно использовать несколько стратегий:

выполнения полного набора функций с максимальной эффективностью. Такой вариант, как правило, применим в условиях большого количества ресурсов, минимального количества задач, функций, целей, обеспечивающих выполнение целевого предназначения системы, отсутствия пагубных результатов воздействия дестабилизирующих факторов, приводящих к нарушению функционирования системы.

$$W_{\Sigma} = \sum_{i=1}^{m} k_{r_i} W_{r_i} + \sum_{i=1}^{q} k_{Z_i} W_{Z_i} + \sum_{i=1}^{c} k_{F_i} W_{F_i} + \sum_{i=1}^{a} k_{A_i} W_{A_i},$$

$$W_{\Sigma} = \max W,\ W_{r_i} > W_{r_i\text{треб}},\ W_{Z_i} > W_{Z_i\text{треб}},\ W_{F_i} > W_{F_i\text{треб}},\ W_{A_i} > W_{A_i\text{треб}},$$

$$W_{r_i} = \max W_{r_i},\ W_{Z_i} = \max W_{Z_i},\ W_{F_i} = \max W_{F_i},\ W_{A_i} = \max W_{A_i};$$

выполнение ограниченного набора задач, функций, целей, в первую очередь, критически важных для достижения целевого предназначения ИУС, с максимальной эффективностью, остальных с эффективностью, не ниже требуемой. В данном случае, из-

за ограниченности ресурса системы, нарушений функционирования отдельных элементов, снижения качества выполнения задач, функций, целей, определяется перечень критически важных функций, задач, целей, выполнение которых должно обеспечиваться с максимальной эффективностью, остальные элементы профиля выполняются с качеством не ниже требуемого.

$$W_{\Sigma} = W_{\Sigma 1} + W_{\Sigma 2\text{крит}},$$

$$W_{\Sigma 1} = \sum_{i=1}^{m} k_{r_i} W_{r_i} + \sum_{i=1}^{q} k_{Z_i} W_{Z_i} + \sum_{i=1}^{c} k_{F_i} W_{F_i} + \sum_{i=1}^{a} k_{A_i} W_{A_i},$$

$$W_{\Sigma 2\text{крит}} = \sum_{i=1}^{m} k_{r_i} W_{r_i\text{крит}} + \sum_{i=1}^{q} k_{Z_i} W_{Z_i\text{крит}} + \sum_{i=1}^{c} k_{F_i} W_{F_i\text{крит}} + \sum_{i=1}^{a} k_{A_i} W_{A_i\text{крит}},$$

$$W_{\Sigma 2\text{крит}} = \max W,\ W_{r_i} \geq W_{r_i\text{треб}},\ W_{Z_i} \geq W_{Z_i\text{треб}},\ W_{F_i} \geq W_{F_i\text{треб}},\ W_{A_i} \geq W_{A_i\text{треб}};$$

выполнение всех элементов профиля функционирования системы с эффективностью, не ниже требуемой.

$$W_{\Sigma} = \sum_{i=1}^{m} k_{r_i} W_{r_i} + \sum_{i=1}^{q} k_{Z_i} W_{Z_i} + \sum_{i=1}^{c} k_{F_i} W_{F_i} + \sum_{i=1}^{a} k_{A_i} W_{A_i},$$

$$W_{\Sigma} \geq W_{\Sigma\text{треб}},\ W_{r_i} \geq W_{r_i\text{треб}},\ W_{Z_i} \geq W_{Z_i\text{треб}},\ W_{F_i} \geq W_{F_i\text{треб}},\ W_{A_i} \geq W_{A_i\text{треб}};$$

выполнение критически важных элементов профиля функционирования с эффективностью, не ниже требуемой, при этом часть запланированных к выполнению функций, задач может не выполняться, для перераспределения ресурсов системы.

$$W_{\Sigma} = W_{\Sigma 1} + W_{\Sigma 2\text{крит}},$$

$$W_{\Sigma 1} = \sum_{i=1}^{m} k_{r_i} W_{r_i} + \sum_{i=1}^{q} k_{Z_i} W_{Z_i} + \sum_{i=1}^{c} k_{F_i} W_{F_i} + \sum_{i=1}^{a} k_{A_i} W_{A_i},$$

$$W_{\Sigma 2\text{крит}} = \sum_{i=1}^{m} k_{r_i} W_{r_i\text{крит}} + \sum_{i=1}^{q} k_{Z_i} W_{Z_i\text{крит}} + \sum_{i=1}^{c} k_{F_i} W_{F_i\text{крит}} + \sum_{i=1}^{a} k_{A_i} W_{A_i\text{крит}},$$

$$W_{\Sigma} = \max W,\ W_{r_i\text{крит}} \geq W_{r_i\text{треб}},\ W_{Z_i\text{крит}} \geq W_{Z_i\text{треб}},\ W_{F_i\text{крит}} \geq W_{F_i\text{треб}},\ W_{A_i\text{крит}} \geq W_{A_i\text{треб}},$$

$$W_{r_i} \geq 0,\ W_{Z_i} \geq 0,\ W_{F_i} \geq 0,\ W_{A_i} \geq 0.$$

Выбор сценария построения ИУС определяет условия действия лиц, принимающих решение, при нарушении функционирования системы для обеспечения непрерывного функционирования функционально устойчивой системы.

Распределение ресурсов в условиях нарушения функционирования ИУС

Для оценки эффективности функционирования ИУС в условиях нарушения выполнения профиля функционирования системы и его элементов, рассмотрим граф $G(V, L; W)$. Невыполнение того или иного $i$-го элемента профиля будем рассматривать как отсутствие дуги (дуг) $l_i$, связывающей его с другим (другими) элементом системы.

Возникновение ситуаций пропадания дуг и вершин графа приведет к необходимости реконфигурации ИУС [66, 91, 270, 320, 494]. При отсутствии возможности проведения реконфигурации системы она деградирует в систему, описываемую новым графом $G'(V', L'; W')$, при этом $G' \subset G$. Последующее нарушение функционирования системы и ее элементов, выход из строя отдельных элементов приведет к последующей деградации системы, при этом полное отсутствие дуг, показывающих связи между элементами графа $G(V, L; W)$, соответствует пустому графу.

Степень деградации системы, определяемая отличие исходного графа от полученного, после пропадания дуг и вершин:

$$k_{\text{д}} = \frac{v'+l'}{v+l},$$

где $v'$ – количество вершин, пропавших из исходного графа, $v' \in V'$, $l'$ – количество дуг, пропавших из исходного графа, $l' \in L'$, $v$ – количество вершин исходного графа, $v \in V$, $l$ – количество дуг исходного графа, $l \in L$.

Каждому графу $G'(V', L'; W')$ ставиться в соответствие коэффициент деградации $k_{\text{д}}$ $G \to k_{\text{д}} = 0$, $G' \to k_{\text{д}}'$, …, $G^i \to k_{\text{д}}{}^i = 1$..

Нарушение функционирования того или иного элемента ИУС, множества элементов, на разных уровнях иерархии системы, может характеризоваться одинаковым коэффициентом деградации, при этом для каждого коэффициента может формироваться не один вариант построения ИУС (построения графа), а множество. Для оценки эффективности функционирования ИУС предлагается использовать математическое ожидание $W$

$$W_{\Sigma} = \frac{\sum_{i=1}^{N} W_{\Sigma}^{i}}{N},$$

где $N$ – возможное количество графов, описывающих ИУС, с нарушенными (не выполняющимися, пропавшими) дугами и вершинами, которые можно построить для $i$-го коэффициента деградации $k_{\text{д}}$.

Таким образом изменение (деградация) ИУС при воздействии различных дестабилизирующих факторов, приводящих к нарушению функционирования ИУС, происходит в последовательности, описываемой выражением:

$$D =< k_{д}^{*}, G^{*}, W^{*} >$$

где $k_{д}^{*}$ – множество, характеризующее изменение коэффициента деградации, $k_{д}^{*} = \{k_{д0}, k_{д1}, ..., k_{дi}\}$, $G^{*}$ – множество, характеризующее изменение графа $G$, $G^{*}$ = { $G_0$, $G_1$, …, $G_i$}, $W^{*}$ – множество, характеризующее изменение эффективности выполнения профиля функционирования ИУС, $W^{*}$ = { $W_0$, $W_1$, …, $W_i$}.

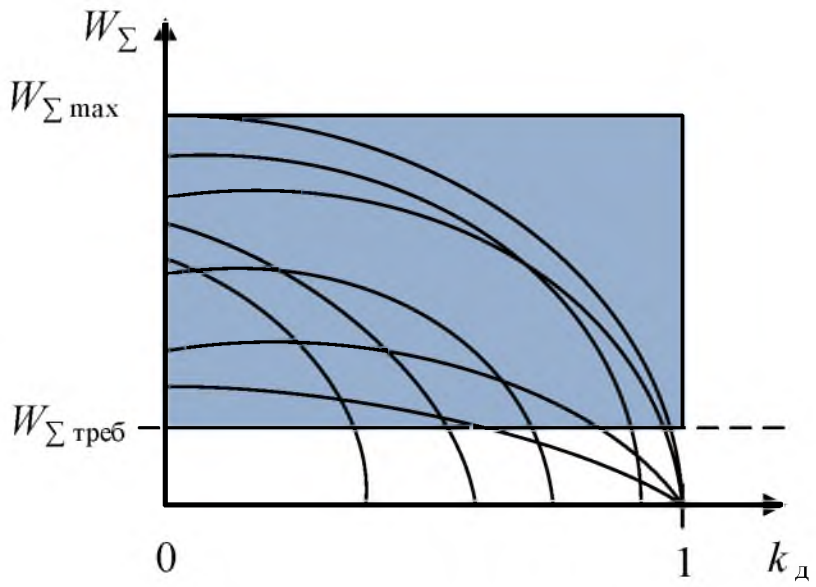



Рисунок 7.17 – Зависимость эффективности от коэффициента деградации структуры ИУС

Изменение состояния СТС, приводящие к нарушению ее функционирования $D$ можно представим в виде зависимости $W$ от $k_{д}$ (рис. 7.17). Определение оптимальной структуры СТС сводится к выбору такой структуры для которой будет выполняться условие максимума эффективности при минимальных затратах ресурса, при условии выбора одной из четырех стратегий.

Пример выбора оптимальной структуры ИУС

Рассмотрим два сценария $D_1$ и $D_2$ изменения состояния ИУС, под воздействием дестабилизирующих факторов и произведем выбор наиболее подходящего для данной ИУС (рис. 7.16).

Предположим, что для двух сценариев $D_1(W_\Sigma, k_д) \approx D_2(W_\Sigma, k_д)$, при этом, представленные на рисунке 7.17 кривые имеют различное основание $k_д$. Необходимо определить оптимальную структуру системы в условиях ее деградации.

Минимальному требуемому значению суммарной эффективности функционирования ИУС для сценариев $D_1$ и $D_2$ будут соответствовать, коэффициенты деградации $k_{д\,порог1}$ и $k_{д\,порог2}$, соответственно. Данные состояния системы определяют такие состояния, при которых система не сможет выполнить целевое предназначение.

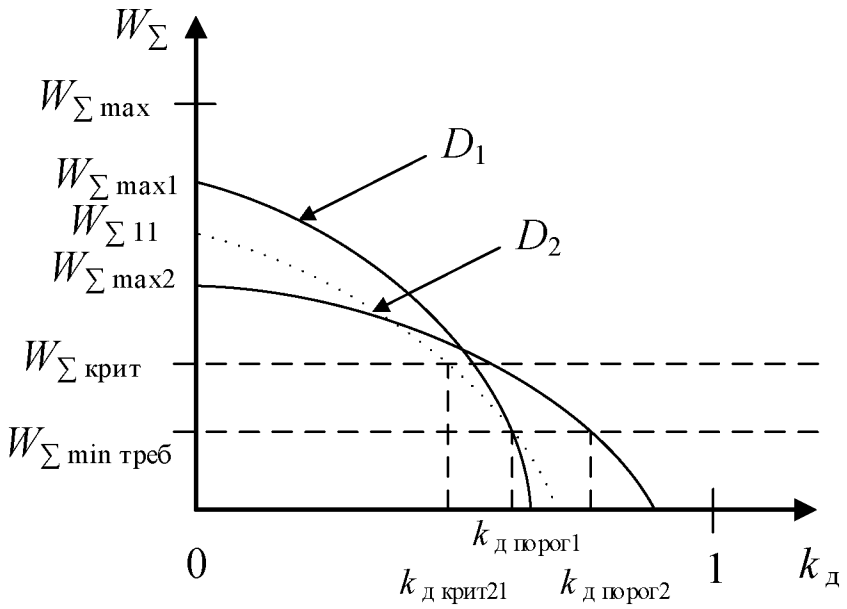



Рисунок 7.18 – Зависимость эффективности от коэффициента деградации структуры ИУС для сценариев $D_1$ и $D_2$

При рассмотрении ИУС, определяемой двумя состояниями деградации предлагается рассмотреть четыре предложенных в работе подхода к выбору ее оптимальной структуры. При этом критерием выбирается либо выполнение большего количества элементов профиля в условиях максимально большого количества нарушений функционирования элементов, т.е. когда $k_{д2} > k_{д1}$. Такой подход может использоваться для систем, где критичны вопросы надежности, живучести, безопасности элементов и процесса функционирования. К таким системам можно отнести системы работающие в сфере обороны, защиты гражданского населения и т.д. Для случая, изображенного на рисунке 7.18, по этому критерию выбираем сценарий $D_2$.

Другим критерием может служить качество выполнения профиля функционирования и его элементов. При этом, выбор сценария действия может осуществляться:

по максимальному значению качества выполнения профиля. Для данного рассматриваемого случая по такому критерию оптимальным будет вариант $D_2$;

при обеспечении качества выполнения профиля не ниже требуемого, при условии максимума качества выполнения критически значимых элементов профиля;

при обеспечении качества выполнения критически значимых элементов профиля, независимо от качества выполнения профиля функционирования.

Для данных критериев, когда имеется приоритет критически важных элементов профиля функционирования ИУС, приоритетным будет сценарий $D_1$, однако значение коэффициента деградации в данном случае может существенно снизиться, из-за необходимости обеспечения значения критического показателя качества выполнения одиночного элемента профиля $W_{\sum\text{крит}}$. Такие системы также характерны для оборонной отрасли, отдельных отраслей промышленности, обеспечения правопорядка, информационных систем и систем управления и т.д.

Выбор того или иного критерия осуществляется в зависимости от условий функционирования системы, специфики решаемых задач, целевого предназначения самой системы и профиля ее функционирования [301, 302].

Пример оптимизации использования ресурсов для выполнения задач

Рассмотрим систему, которая выполняет четыре задачи $Z_1$, $Z_2$, $Z_3$ и $Z_4$ и для каждой задачи определим условия ее выполнения. Для выполнения задач в системе имеется ресурс $E = \{r_1, r_2, r_3, r_4, r_5, r_6, r_7\}$, при этом $r_6 = r_1 + r_2$ и $r_7 = r_4 + r_5$. Эффективность и качество функционирования каждого ресурса описывается множеством состояний $w_{ij}$ из $W$, изменение которых показывает нарушение и деградацию каждого ресурса системы. Предположим, что каждая задача выполняется задействованием следующих ресурсов:

$$Z_1 = r_6 \otimes r_3 \oplus r_7 \otimes r_1 \oplus r_6 \otimes r_5 \oplus r_4 \otimes r_2 \otimes r_3,$$

$$Z_2 = r_1 \otimes r_3 \otimes r_4 \oplus r_5 \otimes r_1 \oplus r_7 \otimes r_2,$$

$$Z_3 = r_2 \otimes r_7 \oplus r_2 \otimes r_5 \otimes r_3 \oplus r_3 \otimes r_1,$$

$$Z_4 = r_6 \otimes r_7 \oplus r_3 \otimes r_1 \oplus r_4 \otimes r_2 \otimes r_3.$$

Эффективность выполнения каждой задачи будет определяться суммой эффективностей функционирования всех ресурсов, использующихся для выполнения

данной задачи, при этом эффективность функционирования каждого ресурса определяется выражением $W_i = k_i w_i$, тогда эффективность для каждой задачи будет:

$$W_{Z_1} = \left(k_{r6} W_{r6} + k_{r3} W_{r3}\right) \oplus \left(k_{r7} W_{r7} + k_{r1} W_{r1}\right) \oplus \left(k_{r6} W_{r6} + k_{r5} W_{r5}\right) \oplus \left(k_{r4} W_{r4} + k_{r2} W_{r2} + k_{r3} W_{r3}\right),$$

$$W_{Z_2} = \left(k_{r4} W_{r4} + k_{r1} W_{r1} + k_{r3} W_{r3}\right) \oplus \left(k_{r5} W_{r5} + k_{r1} W_{r1}\right) \oplus \left(k_{r7} W_{r7} + k_{r2} W_{r2}\right),$$

$$W_{Z_3} = \left(k_{r7} W_{r7} + k_{r2} W_{r2}\right) \oplus \left(k_{r2} W_{r2} + k_{r5} W_{r5} + k_{r3} W_{r3}\right) \oplus \left(k_{r3} W_{r3} + k_{r1} W_{r1}\right),$$

$$W_{Z_4} = \left(k_{r7} W_{r7} + k_{r6} W_{r6}\right) \oplus \left(k_{r1} W_{r1} + k_{r3} W_{r3}\right) \oplus \left(k_{r4} W_{r4} + k_{r2} W_{r2} + k_{r3} W_{r3}\right).$$

Выбор варианта выполнения задачи за счет имеющегося ресурса будет определяться максимальной эффективностью одного из вариантов задействования ресурсов для выполнения этой задачи.

Влияние нарушений функционирования системы, обусловленное невыполнением задач, нарушением функционирования ресурсов системы. Если выполнение $q$ задачи зависит от совокупности $m$ – х ресурсов, то нарушение и снижение качества (эффективности) функционирования каждого из них приведет к нарушению или прекращению выполнения такой задачи. Существуют условия невыполнения данной задачи, при этом наличие того или иного ресурса, часто позволяет выполнить эту задачу использованием разных комбинаций задействования ресурса, сценариев ее выполнения. Для описания процесса нарушения функционирования ресурсов рассмотрим матрицы – матрицу нарушения выполнения задач и матрицу снижения качества ее функционирования. Размерности матриц соответствуют размерности матрицы матрицу выполнимости задачи, описывающую задачи и ресурсы, необходимые для ее выполнения $q \times m$. При этом данные матрицы ставятся в соответствие друг другу.

Для формирования матрицы выполнения задач проверяется условие, если ресурс необходим для выполнения задачи или может использоваться к каком-либо сценарии ее выполнения, то в ячейку матрицы записывается значение «1», иначе значение «0». Кроме этого для каждой задачи можно сформировать матрицу ее выполнимости путем устранения строк и столбцов, характеризующих элементы системы, не влияющие на выполнение такой задачи.

Для формирования матрицы нарушения выполнения задач для каждой задачи, которая характеризует строку матрицы, определяется ресурс, соответствующий столбцу матрицы и необходимый для выполнения данной задачи. Размер данной матрицы соответствует размеру матрицы выполнения задач, а значения в ячейках определяются из условия, если ресурс функционирует с требуемым качеством, то в ячейке, соответствующей данному ресурсу находится значение «0», если ресурс отсутствует (нарушено его функционирование), то значение в ячейке – «1».

Для описания качества функционирования ресурсов системы предлагается сформировать матрицу эффективности (качества функционирования) ресурсов системы. Значения в ячейках данной матрицы могут изменяться от 1 до 0, где значению «1» соответствует 100% эффективность функционирования ресурса.

Матрица снижения качества ее функционирования соответствует матрице нарушения выполнения задач, при этом ее элементы характеризуют изменение качества функционирования ресурсов системы в процессе ее функционирования. Предлагается рассмотреть систему в которой характеристика качества функционирования каждого ресурса в начальный рассматриваемый момент времени максимальна, что соответствует значению «1». В процессе функционирования системы и моделировании происходит изменение состояния каждого ресурса с значения «1» до «0».

Процесс снижения качества выполнения задач и нарушения функционирования ресурсов будет характеризоваться изменением значений матрицу нарушения выполнения задач и матрицу снижения качества ее функционирования. Значение качества функционирования ресурса в матрице изменяется от максимального до нуля, при превышении порога $W\min$ значение матрицы нарушения выполнения задач, соответствующее данному ресурсу изменяется с 0 на 1.

Формирование матрицы состояния системы в каждый момент времени сводится к выполнению логической операции «или» над соответствующими элементами матриц выполнения задач и нарушения выполнения задач:

$$\left|Y\right| = \left|Y_{Z-E}\right| \oplus \left|Y^{*}_{Z-E}\right|,$$

для данного выражения определены операции исключающего или $0 \oplus 0 = 0$, $1 \oplus 0 = 1$, $0 \oplus 1 = 1$, $1 \oplus 1 = 0$.

Таким образом, при переходе из одного состояния системы в другое, обусловленное нарушением функционирования (снижением качества функционирования) того или иного ресурса системы, который необходим для выполнения ее задач, происходит деградация системы, при этом вариант (сценарий) задействования ресурсов для выполнения каждой задачи пересчитывается в соответствии с матрицей эффективности (качества функционирования) системы.

Для выполнения каждой задачи в любой момент времени в системе выбирается вариант, обладающий наибольшей эффективностью функционирования, для которого требуется минимальное количество ресурсов. Данному варианту ставится в соответствие оптимальная матрица выполнения задач.

Выходным параметром представленного в работе подхода является множество сценариев (вариантов) выполнения каждой задачи, функции, цели за счет имеющегося ресурса. Увеличение количества ресурсов и количества задач, функций, целей приведет к увеличению вариантов выполнения каждой задачи, функции и цели, а также необходимости внесения ограничений по эффективности функционирования отдельных ресурсов, а также их критичности.

Представленный в работе подход был реализован в MatLab. В качестве исходных данных выбраны следующие: стратегия максимальной эффективности выполнения задачи, моделирование проводилось для ресурсов $E = \{r_1, r_2, r_3, r_4, r_5, r_6, r_7\}$, коэффициенты значимости задаются матрицей $k_i = \{k_1, k_2, k_3, k_4, k_5, k_6, k_7\} = \{0.2, 0.2, 0.1, 0.25, 0.25, 0.2, 0.25\}$, время моделирования $10^4$ с. Полученные результаты для задач $Z_1$, $Z_2$, $Z_3$ и $Z_4$ представлены на рисунках 7.19 – 7.22.

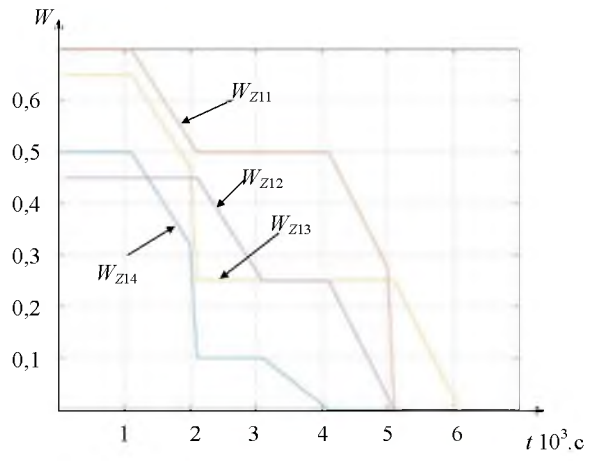



Рисунок 7.19 – Зависимость эффективности выполнения первой задачи с использованием различных сценариев задействования ресурсов от времени моделирования

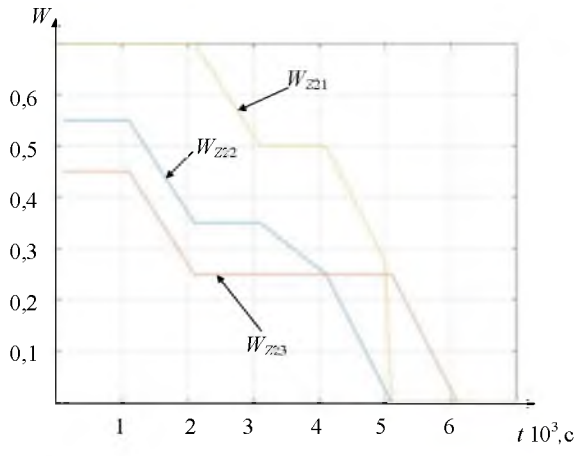



Рисунок 7.20 – Зависимость эффективности выполнения второй задачи с использованием различных сценариев задействования ресурсов от времени моделирования

Полученные графики, характеризующие эффективность выполнения каждой задачи (рис. 7.19 – 7.22), показывают основание выбора того или иного сценария задействования ресурсов системы, позволяющих выполнить задачу с максимальной эффективностью. Результаты выбора сценария для каждой задачи показаны на рисунках 7.23 и 7.24. Таким образом с увеличением коэффициента деградации системы и увеличением нагрузки на оставшиеся ресурсы происходит снижение эффективности функционирования ресурсов и выполнения задач.

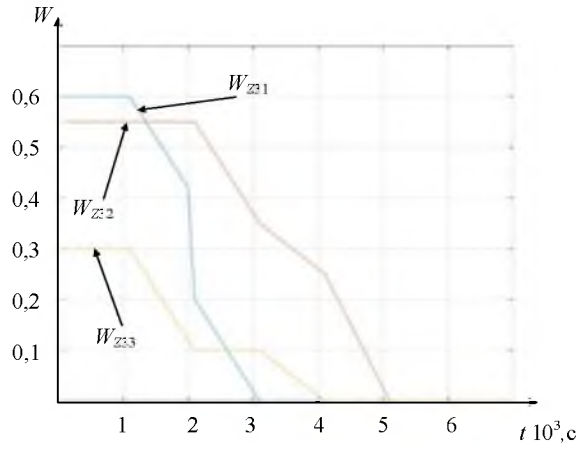



Рисунок 7.21 – Зависимость эффективности выполнения третьей задачи с использованием различных сценариев задействования ресурсов от времени моделирования

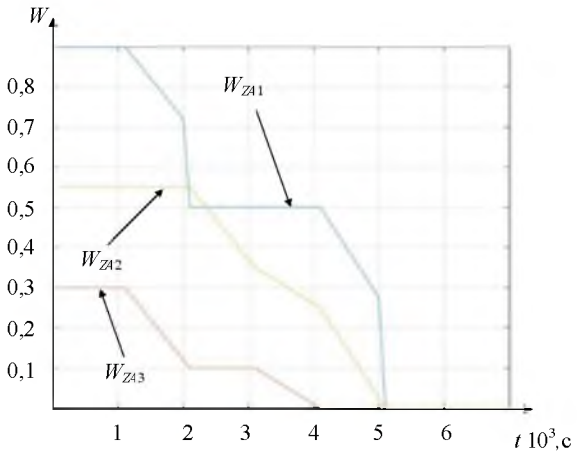



Рисунок 7.22 – Зависимость эффективности выполнения четвертой задачи с использованием различных сценариев задействования ресурсов от времени моделирования

Результаты выбора наиболее эффективного варианта выполнения каждой задачи показаны на рисунках 7.22.

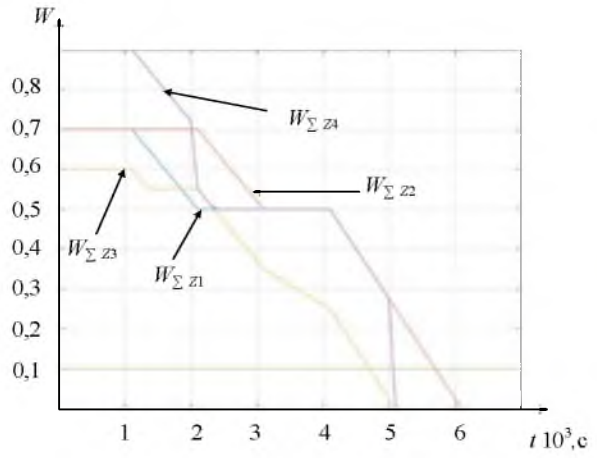



Рисунок 7.23 – Зависимость эффективности выполнения задач от времени моделирования

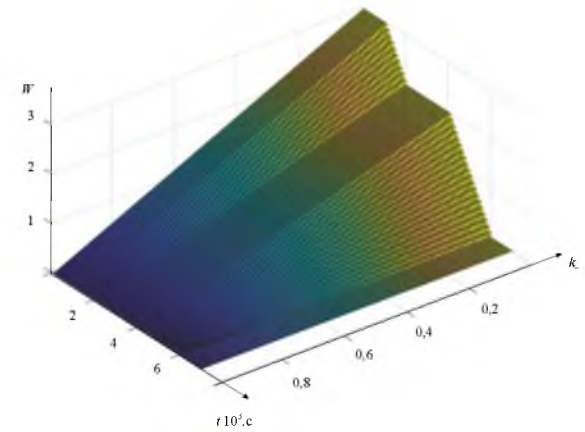



Рисунок 7.24 – Зависимость эффективности выполнения задач от времени моделирования и значимости задачи

Для каждой задачи построены графики зависимости эффективности их выполнения от времени функционирования (коэффициента деградации) и коэффициента значимости ресурсов системы. Видно из рисунка 7.19 для первой задачи, что с увеличением значимости уменьшается эффективность выполнения задачи, что обусловлено возрастающей нагрузкой на ресурсы системы при нарушении функционирования ее элементов.

Результатом моделирования для каждого варианта исходных данных в любой момент времени моделирования будет вариант оптимального задействования ресурсов системы для каждой задачи, например, для $t_1$ = 1200 с $t_2$ = 2200 с:

$$Y_{opt1} = \begin{vmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \end{vmatrix}; \; Y_{opt2} = \begin{vmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{vmatrix}$$

## 7.13. Выводы по Главе 7

Проблема устойчивого функционирования ИУС в режиме реального времени тяжела в решении. Изменение состояния системы и ее элементов из-за отказов, поломок, последствий воздействия различных факторов приводят к постепенной деградации системы, неспособности ее выполнить свое целевое предназначение. Выполнение целевого предназначения в условиях ограниченности ресурса и необходимости формирования резерва средств системы, наряду с потребностями ЛПР в получении услуг и результатов функционирования системы с максимальным качеством, определяют актуальность исследования, а также необходимость оптимизации ИУС в условиях меняющейся обстановки.

Формирование профиля функционирования ИУС позволяет описывать процесс функционирования системы, при этом, определение качества выполнения элементов профиля и процесса функционирования в целом позволяет выбрать сценарий действия системы на этапе проектирования системы, а также в условиях деградации, позволяющий максимально эффективно использовать возможности и ресурсы системы для достижения целевого предназначения системы.

Предложенные подходы по обеспечению функциональной устойчивости ИУС основываются на построении профиля функционирования системы и его использовании для проектирования, построения системы, а также для выявления конфликтов в системе и формирования сценариев устранения нарушений ее функционирования. Наряду с выявлением конфликтов профиль функционирования ИУС используется для выявления критических элементов структуры системы и процесса ее функционирования.

Предлагаемые в работе устройство автоматизированного управления процессом проектирования и функционирования ИУС, а также система контроля процесса функционирования ИУС имеют возможность практической реализации для системы и позволяют обеспечивать ее функциональную устойчивость.

Увеличение количества элементов системы, разнесенность их в пространстве, сложность системы, обусловленная возрастающим количеством выполняемых функций и задач создают трудности для контроля и мониторинга системы. Все это приводит к потребности увеличения количества контролируемых элементов системы и параметров контроля, а также создания инфраструктуры ИУС, позволяющей осуществлять обмен информацией о состоянии системы и принятых для обеспечения ее устойчивого функционирования мерах. Предлагаемые алгоритмы решения позволяют уменьшать количество контролируемых параметров, при сохранении требуемых полноты и своевременности контроля и мониторинга состояния системы и ее элементов.

Предлагаемый программный комплекс обеспечения функциональной устойчивости ИУС и ее элементов практически реализуем и позволяет на основе работы планировщика по оценке возможностей системы по выполнению целевого предназначения системы, оценке целевого предназначения формировать профиль функционирования системы. На основе работы сканера и программы контроля функционирования системы осуществлять формирование профиля процесса функционирования системы, формировать запросы и получать ответы о состоянии системы и ее элементов, а также обнаруживать конфликты и передавать информацию о них ЛПР. В программе выявления критичности осуществляется оценка критичности элементов системы. На основе результатов контроля, а также построения профиля функционирования ИУС осуществляется формирование базы сценариев выполнения функций, задач системы, использование которых позволит своевременно реагировать на возникновение конфликтов в системе.

Особенностью алгоритма оптимизации структуры ИУС является учет процесса функционирования системы и ее элементов, определение связей между ними и оценки влияния пропадания элементов профиля функционирования на качество функционирования системы. Кроме этого, рассмотрены четыре возможных варианта оптимизации структуры, в том числе на основе учета обеспечения выполнения критически значимых элементов профиля функционирования ИУС.

# ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В 2017 году в ФЗ-187 появились требования к объектам критической информационной инфраструктуры по обеспечению безопасного и устойчивого их функционирования. Критичность объектов и их элементов свойство, характеризующее последствия нарушения устойчивого функционирования объектов КИИ. Возникает необходимость обеспечения устойчивого функционирования таких объектов, что предполагает контроль и управление такими системами. Нормативная база в области защиты КИИ определила порядок и требования к процедуре категорирования объектов, а также перечень средств защиты, позволяющих защищать объекты от КА. Помимо КА на объекты действуют другие факторы, влияющие на ее функционирование, последствия от которых будут не менее пагубными. Первичным остается обеспечение функциональной устойчивости системы.

К объектам КИИ отнесли информационные системы, автоматизированные системы управления и информационно-телекоммуникационные сети, а к КИИ дополнительно сети связи, обеспечивающие функционирование ОКИИ. Все ОКИИ относятся к СТС, развитие которых в современных условиях привело к росту их значимости. В последнее десятилетие произошел большой скачек в развитии беспилотных систем и объектов, чему способствовало состояние современной обстановки развития общества, массовое использование БПЛА при проведении специальной военной операции. Параллельно с этим происходит внедрение БП технологий в сельском хозяйстве, машиностроении, горнодобывающей промышленности, подразделения обеспечения правопорядка и других. Размещение на БПЛА средств проведения геофизических работ привело к тому, что ИУС такими средствами должны выполнять весь перечень возложенных на них задач и функций, что определяет их критичность для проведения таких работ. Нарушение выполнения ими своих функций, выход из строя БПЛА, невозможность обеспечения обмена информации в системе может привести к тяжелым экологическим, экономическим последствиям, а также к гибели людей.

Решение поставленной научной проблемы обеспечения функциональной устойчивости ИУС АН позволило повысить эффективность функционирования системы, обеспечить выполнение всего перечня возложенных на систему задач и функций в рамках выполнения целевого предназначения системы.

В рамках диссертационного исследования и решения научной проблемы были разработаны следующие научные положения:

1. Концепция обеспечения функциональной устойчивости ИУС АН.

2. Структурно-функциональная модель процесса функционирования ИУС АН.

3. Метод построения профиля функционирования и профиля процесса функционирования ИУС АН.

4. Метод определения и оценки критичности элементов ИУС АН.

5. Метод обеспечения функциональной устойчивости ИУС АН.

6. Технологии обеспечения функциональной устойчивости ИУС АН на основе использования профиля функционирования и его предиктивного контроля.

Увеличение сложности системы, количества выполняемых ею задач и функций привело к сложностям в формализации системы и построения адекватных моделей, из-за необходимости учитывать большое количество связей между элементами системы. В рамках первого научного положения разработана концепция обеспечения функциональной устойчивости ИУС АН в основе которой лежит закон сохранения целостности объекта, позволяющий объединить объект (структур системы), действие (функциональные характеристики системы) и предназначение системы, определяющее ее целевое предназначение. Возможность сохранения взаимосвязи объекта и действия через предназначение возможно при наличии у системы управления постоянной информации о состоянии ИУС, что предлагается реализовать через процессный подход включающий планирование, воздействие на систему, контроль и исправление системы (реконфигурацию). При выполнении контроля СТС возникают трудности из-за сложности формализации системы, для чего в рамках второго положения, выносимого на защиту, разработан метод построения профиля функционирования ИУС АН.

Разработанная графо-матричная модель системы позволяет определить перечень ресурсов системы, которые могут быть использованы для выполнения всех возможных функций, задач, целей системы. Профиль функционирования системы предназначен для формализации определенного целевое предназначение системы, заданное на ограниченном участке времени. Структура профиля представляет собой иерархически связанные структурные и функциональные элементы системы, формализованные в виде взаимовложенных матриц.

Количество дестабилизирующих факторов, влияющих на функционирование как отдельных элементов ИУС, так и всей системы с каждым годом растет. Это связано, в первую очередь, с появлением новых средств воздействия у злоумышленников, совершенствованием их тактико-технических характеристик. Успешность реализации таких воздействий зависит от многих факторов, например, характера воздействия, средств и квалификации злоумышленника, используемой в ИУС и системы защиты и контроля и т.д. В результате таких воздействий может нарушаться устойчивость функционирования

системы, что недопустимо для нее. При этом, поведение системы при воздействии на различные ее элементы, которые приводят к нарушению их функционирования, различное. Это обусловлено различной критичностью (значимостью) этих элементов для системы, в первую очередь, последствий и влияния нарушения их функционирования для системы. В рамках третьего положения, выносимого на защиту разработан метод определения и оценки критичности элементов ИУС, позволяющий на основе профиля функционирования системы выявлять критические элементы системы, обеспечение функциональной устойчивости которых значительно влияет на функциональную устойчивость ИУС.

В рамках четвертого положения, выносимого на защиту, разработан метод обеспечения функциональной устойчивости ИУС АН, основанный на предиктивном контроле профиля функционирования системы. Основным элементом системы является ее ресурс, от качества и количества которого зависит сможет ли система выполнить свое предназначение. Управление ресурсом осуществляется на основании рисков в системе в рамках цикла управления, реализованного в процессном подходе. Оценка эффективности управления и использования ресурсов осуществляется с помощью контроля состояния системы, выполнения целевого предназначения и профиля функционирования ИУС в любой момент времени. Выявление конфликтов профилей в системы, определяемых как отличие профиля функционирования и профиля процесса функционирования ИУС, говорит об отклонении вектора выполнения целевого предназначения и необходимости реакции на такое событие. В работе предложена концептуальная модель контроля ИУС, основанная на контроле профиля и выявление конфликтов в системе. Использование профиля в модели позволяет не только обнаруживать конфликты в системе, но и прогнозировать поведение системы при их возникновении, а также влиянии их на выполнение профиля и его элементов в дальнейшем.

В рамках пятого положения, выносимого на защиту, разработан подход по формированию сценариев действий при возникновении конфликтов профиля системы, способы обеспечения устойчивого функционирования ИУС АН, сложного ПАО, входящих в состав ИУС АН, основанные на построении и использовании профиля функционирования ИУС АН. Устройство автоматизированного управления процессом проектирования и функционирования ИУС АН практически применимо и включает процессы построения структурной и функциональной характеристик системы, моделирования функционирования системы в условиях воздействия ДФ и выбор оптимальной структуры системы для выполнения заданного целевого предназначения. В рамках построения системы контроля процесса функционирования ИУС с использованием планировщика осуществляется построение профиля функционирования системы, а с использованием

сканера формирование профиля процесса функционирования системы, которые сравниваются и позволяют выявлять конфликты в системе. Разработанный программный комплекс обеспечения функциональной устойчивости позволяет объединить полученные в работе результаты в виде программного продукта, который может быть использован для проектирования, построения и контроля, планирования функционирующей системы, выявления конфликтов профиля функционирования ИУС и формирования сценариев действия для их устранения. Предложен подход к оптимизации использования ресурсов системы для выполнения функций и задач.

Степень достоверности, новизны и практической применимости полученных в работе положений, определяется результатами исследования предметной области в области повышения эффективности ИУС, расширении функциональных возможностей ИУС АН по обеспечению ее функциональной устойчивости в рамках выполнения целевого предназначения на ограниченном отрезке времени, а также по итогам апробации практического применения.

Выносимые на защиту полученные научные результаты являются новыми, достоверными, теоретически и практически значимыми. Они могут быть квалифицированы как научно обоснованные технические и технологические разработки, имеющие существенное значение для экономики страны, а в своей совокупности, как решение научной проблемы, имеющей существенное значение для соответствующей отрасли знаний. Следовательно, в ходе решения научной проблемы разработки методического аппарата оценки и обеспечения функциональной устойчивости ИУС АН в условиях изменяющейся обстановки и воздействия ДФ, что позволить расширить ее функциональные возможности, получено пять новых и достоверных научных результата. Эти положения, выносимые на защиту, соответствуют паспорту-специальности 2.2.11 – Информационно-измерительные и управляющие системы.

Внедрение результатов работы в воинских частях в зоне проведения СВО, предприятиях промышленности дало практический результат в виде роста показателей эффективности функционирования ИУС, что подтверждается соответствующими актами. Внедрение полученных результатов позволяют выполнить системе до 93% задач системы и 100% критически важных задач.

Все выше перечисленное в своей совокупности позволяет утверждать, что сформулированная цель диссертационного исследования достигнута.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Русина А.А. Модель и алгоритмы управления рисками внедрения электронного контента в информационно-измерительные системы аэрогеофизического назначения. – СПб.: Военмех, дисс. на соиск. к.т.н. – 145с.

2. Шпун, Я. Две трети атак в 2024 году были совершены на объекты КИИ. [Электронный ресурс www.anti-malware.ru/news/2025-01-14-121598/44944. Дата обращения 2.03.2026 г.]

3. Россия под атакой: число кибернападений на ИТ-инфраструктуру России за год выросло в четыре раза, а на финсектор на 13%. [Электронный ресурс www.safe.cnews.ru/news/top/2025-10-10_chislo_kiberatak_na_it-infrastrukturu. Дата обращения 2.03.2026 г.]

4. За деньги и данные – да: Solar 4RAYS представила отчет о расследовании сложных кибератак в 1 полугодии. [Электронный ресурс www.rt-solar.ru/events/news/5745/?ysclid=mm8tfvuf8n266583555. Дата обращения 2.03.2026 г.]

5. Андерсен, Бьерн. Бизнес- процессы. Инструменты совершенствования / Б. Андерсен. – М.: РИА «Стандарты и качество», 2003. – 272 с.

6. Робсон, М. Практическое руководство по реинжинирингу бизнес-процессов/ М. Робсон, Ф. Уллах. Пер. с англ. под ред. НД. Эриашвили. – М.: Аудит, ЮНИТИ, 1997. – 224 с.

7. Хаммер, М. Реинжиниринг корпорации: Манифест революции в бизнесе/Пер. с англ/ М. Хаммер, Дж. Чампи. – СПб.: Издательство С.–Петербургского университета, 1997. – 332 с.

8. Деминг, Э. Выход из кризиса. Новая парадигма управления людьми, системами и процессами / Э. Деминг. – М.: «Альпина Паблишер», 2011. – 400 с.

9. Ефимов, В. В. Описание и улучшение бизнес-процессов / В. В. Ефимов. – Ульяновск: УлГТУ, 2005. – 84 с.

10. Репин, В.В. Процессный подход к управлению. Моделирование бизнес-процессов/ В.В. Репин, В.Г. Елиферов. – М.: РИА «Стандарты и качество», 2009. – 408 с.

11. Качалов, В.А. Системы менеджмента качества. ИСО 9001:2008 в комментариях и задачах. В 2-х томах/ В.А. Качалов. – М.: ИздАТ, 2011. – 544 с. и 600 с.,

12. Качалов, В. А. Что же должно содержаться в процедурах системы менеджмента качества? / В.А. Качалов //Методы менеджмента качества. – 2011. – № 5–6.

13. Корольков, В. Ф. Процессы управления организацией / В. Ф. Корольков, В. В. Брагин. – Ярославль: изд-во Ртелекома, 2001. – 416 с.

14. Окрепилов, В. В. Всеобщее управление качеством Текст. В 4-х кн. Кн. 1. / В. В. Окрепилов. – М.: изд-во СПб УФ, 1996.– 464 с.

15. Таратута, М.Г. Построение интегрированных систем менеджмента качества с учетом экологических аспектов в организациях строительного комплекса/ М.Г. Таратута. – Ростов-на-Дону: СКНЦВШ, 2004. – 223с.

16. Гуд, Г.Х. Системотехника/ Г.Х. Гуд, Р.Э. Макол. – М.: Сов. Радио, 1962. – 383 с.

17. Резников, Б.А. Системный анализ и методы системотехники. Часть 1: Методология системных исследований. Моделирование сложных систем / Б.А. Резников. – М.: МО СССР, 1990. – 522 с.

18. Калинин, В.Н. Теория систем и управления (структурно-математический подход) / В.Н. Калинин, Б.А. Резников. – Л.: ВИКИ им. А.Ф.Можайского, 1978. – 417с.

19. Ильичев, А.В. Эффективность проектируемых сложных систем/ А.В. Ильичев, В.Д. Волков, В.А. Грущанский. – М.: Высшая школа, 1982. – 280 с.

20. Ильичев, А.В. Эффективность проектируемой техники. Основы анализа/ А.В. Ильичев. – М.: Машиностроение, 1991. – 336 с.

21. Ростовцев, Ю.Г. Задачи знакового моделирования. Ч. 1. Методологические аспекты знакового моделирования/ Ю.Г. Ростовцев. – СПб.: ВИКА им. А.Ф. Можайского, 1996.

22. Бурлов, В.Г. Основы моделирования социально-экономических и политических процессов. / В.Г. Бурлов. – СПб.: Факультет Комплексной безопасности, СПБГПУ, 2007. –265 с.

23. Лепешкин О.М. Синтез модели процесса управления социальными и экономическими системами на основе теории радикалов: дисс. д.т.н / Лепешкин Олег Михайлович. – СПб., 2014. – 430 с.

24. Иванов В.Г. Модель технической основы системы управления специального назначения в едином информационном пространстве на основе конвергентной инфраструктуры системы связи: монография. СПб.: СПбПУ, 2018. 214 с.

25. Филин Б.П. Методы анализа структурной надежности сетей связи. М.: Радио и связь, 1988. 208 с.

26. Дудник Б.Я., Орлов В.К., Овчаренко В.Ф. и др. Надежность и живучесть систем связи. М.: Радио и связь, 1984. 216 с.

27. Гречишников Е.В., Белов А.С., Скубьев А.В. Способ обеспечения живучести сети связи в зоне обслуживания подвижных абонентов // Телекоммуникации. 2016. № 7. С.13-18.

28. Исаков Е.Е. Устойчивость военной связи в условиях информационного противоборства. СПб.: Изд-во Политехнического ун-та, 2009. 400 с.

29. Попков В.К. Математические модели связности. Монография. Новосибирск: ИВМиМГ СО РАН, 2006. 490 с.

30. Привалов А.А. Метод топологического преобразования стохастических сетей и его использование для анализа систем связи ВМФ. СПб.: ВМА, 2000. 240 с.

31. Дурняк Б. В., Машков О. А., Усаченко Л. М., Сабат В. И. Методология обеспечения функциональной устойчивости иерархических организационных систем управления. Сборник научных статей: Институт проблем моделирования в энергетике, НАН Украины, 2008, В. 48, с. 3-21.

32. Стародубцев Ю.И., Иванов С.А., Закалкин П.В. Концептуальные направления решения проблем обеспечения устойчивости Единой сети электросвязи Российской Федерации в интересах органов государственной власти и военного управления. Военная мысль, 2021, № 4, с. 39-49.

33. Макаренко С.И. Модели системы связи в условиях преднамеренных дестабилизирующих воздействии и ведения разведки. Монография. СПб.: Наукоемкие технологии, 2020. 337 с.

34. Буренин А.Н., Легков К.Е. Современные инфокоммуникационные системы и сети специального назначения. Основы построения управления. М.: Медиа Паблишер, 2015. 348 с.

35. Kotenko I., Saenko I., Lauta O. Modeling the impact of cyber Attacks // Cyber Resilience of Systems and Networks. 209. pp. 135-169.

36. Park J., Seager T.P., Rao P.S., Convertino M., Linkov I. Integration risk and resilience approaches to catastrophe management in engineering systems: Perspective // Risk Analysis. 2013. №13. Pp. 356-367.

37. Лаптев В.В. Российский геофизический рынок. Геофизический Вестник. – 2016. – № 4. – С. 4–8.

38. Никитин А.А. Детерминированность и вероятность в обработке и интерпретации геофизических данных / А.А.Никитин // Геофизика. – 2004. – №3. – С.10–16.

39. Бычков С.Г., Симонов А.А. Эволюция программно-алгоритмического обеспечения обработки и интерпретации гравиметрических материалов // Горное эхо. Вестник Горного института. / г. Пермь. – №2(28). – 2007. – С. 38–42.

40. Кирсанов В.Н., Филимонов В.В. Современные аэрогеофизические комплексы и перспективы их развития. Разведка и охрана недр. – 2003. – №4. – С. 20–23.

41. Ессин С., Костюк А.С. Выбор параметров аэрофотосъемки для картографирования с БПЛА. Информационно-аналитический журнал о землеустройстве, геодезии, картографии и навигации Земельный вестник. –2012. – Вып. 7.

42. Костюк А.С. Расчет параметров и оценка качества аэрофотосъемки с БПЛА. Западно-Сибирский филиал «Госземкадастрсъемка» – ВИСХАГИ./ г. Омск, 2010. – 6 с.,

43. Асламов Ю.В., Бабаянц П.С., Глинский Н.А., Зубов Е.И., Мельников П.В. Методические рекомендации по проведению комплексных аэрогеофизических съёмок // Картографическая фабрика ФГБУ ВСЕГЕИ. – СПб. – 2021. – 42 с.

44. Паршин А.В., Цирель В.С., Ржевская А.К. Методические рекомендации по выполнению маловысотной аэромагнитной съемки с применением БПЛА // М.: Изд-во ВИМС, 2018. – 32 с.

45. ISA-95 (The International Standard for the Integration of Enterprise and Control Systems)

46. Семенова Е.Г., Фролова Е.А., Смирнова М.С. Управление рисками проектов по разработке интерактивных электронных технических руководств для эксплуатации и ремонта авиационной техники // Татищевские чтения: актуальные проблемы науки и практики. Материалы XVI Международной научно-практической конференции: в 2-х т. (Екатеринбург, 2019). – С. 144–147.

47. Цирель В.С. Аэромагнитная градиентометрия. Достоинства и недостатки / В.С. Цирель // Материалы международной школы-семинара по проблемам палеомагнетизма и магнетизма горных пород/ г. Казань, (2013 г.) – С. 231–236.

48. Аверкиев В.В. Компенсация магнитных помех авиационных носителей / В.В. Аверкиев, И.Ю. Бурова, В.В. Могилевкин // Разведка и охрана недр. – 2001. – N 9. – С. 52–58.

49. Анцев В.Г., Русина А.А., Семенова Е.Г. Базовые направления развития аэрогеофизических приборов. Вестник Казанского государственного технического университета им. А.Н. Туполева. – 2025 – Вып. 1. – С. 72–76.

50. Васин М.Г., Попков Д.И. Современные задачи бортовой гравитационной градиентометрии // В кн. Гравиметрия и геодезия (отв. ред. Б.В. Бровар). – М.: Научный мир. – 2010. – 570 с.,

51. Бержицкий В.Н., Ильин В.Н., Савельев Е.Б., Смоллер Ю.Л., Юрист С.Ш., Болотин Ю.В., Голован А.А., Парусников Н.А., Попов Г.В., Чичинадзе М.В. Инерциально-гравиметрический комплекс МАГ-1 (GT-1A). Опыт разработки и результаты летных испытаний // Гироскопия и навигация. –2002. – № 3 (38). – С.104–116.

52. Могилевский В.Е., Контарович О.Р. Аэрогравиметрия – инновационная технология в геофизике // Разведка и охрана недр. – 2011. –№ 7. – С.7–10.

53. Приходько А.Ю., Аэроэлектроразведка: возможности, состояние и перспективы. Разведка и охрана недр. – 2005. – Вып. 12. – С. 73–79.

54. Русина А.А., Анцев В.Г., Базовые методы аэрогеофизических исследований // Пятая конференция молодежного научно-инженерного центра для студентов, аспирантов и молодых учёных. – СПб, Издательство Балтийского государственного технического университета «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова, 2025. – 260с. – Библиотека журнала «Военмех. Вестник БГТУ», №124. С. 76-78.

55. Коротков В.В, Глинский Н.А., Кирсанов В.Н. и др. Съёмки с использованием беспилотных летательных аппаратов – новый этап развития отечественной аэрогеофизики. Российский геофизический журнал. –2021. –№ 53-54. – С. 122–125.

56. ГОСТ Р 70569-2022 Информационные технологии. Сетецентрические информационно-управляющие системы. Интероперабельность. М.: Российский институт стандартизации, 2022 – 16 с.

57. ГОСТ Р 59355-2021 Системная инженерия. Защита информации в процессе функционирования системы. М.: Стандартинформ, 2021 – 40 с.

58. Остроумов О.А., Лепешкин О.М., Синюк А.Д., Митрофанов М.В. Подходы к определению критичности объектов инфраструктуры в различных странах мира // Состояние и перспективы развития современной науки по направлению «Информационная безопасность». Сборник статей III Всероссийской научной-технической конференции. Анапа, 2021. с. 391-400.

59. Бурлов В.Г. Теоретические основы управления риском. СПб.: НПО «Стратегия будущего». 2009 г. –270 с.

60. Мухин, В.И. Основы теории управления. Учебник / В.И.Мухин – М.: Экзамен, 2002. – 256 с.

61. Уткин, Э.А. Государственное и региональное управление/ Э.А.Уткин, А.Ф. Денисов. – М.: ИКФ «ЭКМОС», 2002. – 320 с.

62. Ириков, В.А. Распределенные системы принятия решений. Теория и приложения/ В.А. Ириков, В.Н. Тренев. – М.: Наука. Физматлит., 1999. – 288 с.

63. Малин, А.С. Региональное управление/ А.С. Малин. – М.: Изд. Дом ГУ ВШЭ, 2006. – 267 с.

64. Копытов В.В., Лепешкин О.М. Моделирование безопасности критических социотехнических систем в среде радикалов: Монография. – Ставрополь: Изд-во СГУ, 2010. – 304 с.

65. Остроумов О.А., Лепешкин О.М., Черных И.С., Синюк А.Д. Проблема обеспечения функциональной устойчивости и непрерывности функционирования системы связи // Вестник компьютерных и информационных технологий. 2023. Т. 20, № 4 (226) С. 16-26. DOI: 10.14489/vkit.2023.04.pp.016-026.

66. Остроумов О.А., Базир Г.И., Черных И.С., Лепешкин О.М. Особенности синтеза сложных технических систем // Электроника: наука, технология, бизнес. 2025. 9(250). с. 134-138.

67. Остроумов О.А., Волостных В.А., Синюк А.Д. Анализ нормативной базы критичности объектов в Российской Федерации // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании. XI международная научно-техническая и научно-методическая конференция; сб. научных статей в 4 томах / Под ред. А.В. Шестакова; сост. В.С. Елагин, Е.А. Аникевич. СПб.: СПбГУТ, 2022. Т. 1. 880 с., с. 116-119.

68. Остроумов О.А., Лепешкин О.М., Ковалев Д.С., Остроумова Е.В. К вопросу о понятии критической информационной инфраструктуры системы управления // I-metods, Т. 13, № 3, 2021, с. 10-15.

69. Остроумов О.А., Лепешкин О.М., Черных И.С., Остроумов М.А. К вопросу о понятии критически важного объекта // Проблемы технического обеспечения войск в современных условиях. Труды VI межвузовской научно-практической конференции. Санкт-Петербург, 2021. с. 17-20.

70. Остроумов О.А., Лепешкин О.М., Карпов М.А, Савищенко Н.В. Анализ подходов к оценке устойчивости систем // Информационная безопасность регионов России (ИБРР-2021). XII Санкт-Петербургская межрегиональная конференция. Санкт-Петербург, 27-29 октября 2021 г.: Материалы конференции / СПОИСУ. – СПб, 2021. -427 с. (с. 161-163).

71. Информационные технологии и системы муниципального и государственного управления: Учеб. пособие / В.Г. Кулаков, А.К. Соловьев, А.Б. Андреев, А.В. Гармонов, А.В. Заряев, А.Г. Остапенко, Б.Ю. Зинченко. – Воронеж: ВГТУ, 2001. – 313 с.

72. ISO 9000:2005. Quality management systems – Fundamentals and vocabulary [Электронный ресурс]// http://www.iso.org.].

73. ГОСТ ISO 9000–2011. Системы менеджмента качества. Основные положения и словарь [Электронный ресурс]//http://protect.gost.ru].

74. ISO 9001:2008. Quality management system – Requirements [Электронный ресурс]// http://www.iso.org.].

75. ГОСТ ISO 9001–2011/ Системы менеджмента качества. Требования [Электронный ресурс]//http://protect.gost.ru.

76. ISO 9004:2009 «Managing for the sustained success of an organization – A quality management approach» [Электронный ресурс]// http://www.iso.org.].

77. ГОСТ Р ISO 9004–2010. Менеджмент для достижения устойчивого успеха организации. Подход на основе менеджмента качества [Электронный ресурс]// http://www.novsu.ru.].

78. ISO 9004:2018 «Quality management – Quality of an organization – Guidance to achieve sustained success» [Электронный ресурс]// http://www.iso.org.].

79. ГОСТ Р Р ИСО 9004-2019. Менеджмент качества. Качество организации. Руководство по достижению устойчивого успеха организации [Электронный ресурс]// http://www.novsu.ru.]

80. Международное техническое соглашение ISO IWA 4 «Системы менеджмента качества. Рекомендации по применению ИСО 9001:2000 в местных органах управления»/ пер. с англ. – М., 2006.

81. Долятовский, В. А. Исследование систем управления/ В. А. Долятовский, В. Н. Долятовская. – М.: МарТ, 2003. – 256с.

82. Остроумов О.А., Лепешкин Е.О., Бударин Э.А. Процессный подход ориентированный на риск для функционирования системы связи // Сборник тезисов докладов XX Всероссийской научной конференции «Нейрокомпьютеры и их применение», 22 марта 2022 года, г. Москва. - М.: МГППУ, 2022. - 233 с., с. 111-112

83. Суязов, В. И. Процессный подход в управлении инновационным развитием предприятия / В. И. Суязов // Инновационная деятельность. – 2009. – № 3. – С. 20–23.

84. Shewhart Walter Andrew Economic control of quality of manufactured product. – D. Van Nostrand Company, 1931. – P. 501.

85. Горлопанов, В. В. Инновационное развитие экономики России / В. В. Горлопанов, С. В. Дуденков. – М., 2009. – Ч. 1: Вопросы теории инновационного развития экономики. – С. 50–55.

86. Deming W. Edwards Some Theory of Sampling. – Dover Publications, 1966.

87. Деминг, Э. Выход из кризиса. Новая парадигма управления людьми, системами и процессами / Э. Деминг. – М.: «Альпина Паблишер», 2011. – 400 с.

88. Каплан Р. Осваиваем систему управления/ Р. Каплан, Д. Нортон // Harvard Business Review. – 2008, май. – С. 70.

89. Davenport T. Process Innovation: Reengineering work through information technology. – Boston, Harvard Business School Press, 1993. – С. 27.

90. Менеджмент процессов / Под ред. Й. Беккера и др. [пер. с нем.]. – М.: Эксмо, 2007. – 384 с

91. Lepeshkin O.M., Ostroumov O.A., Sinyk A.D. The communication system functional stability with critical objects // В сборнике: Проблемы управления безопасностью сложных систем. Материалы XXIX международной научно-практической конференции. Москва. – 2021. – с. 80-85.

92. Алимов Н. К. Процессный подход – революция в управлении? / Н. К. Алимова // Стандарты и качество. – 2006. – № 5. – С. 10–14.

93. Андерсен, Бьерн. Бизнес- процессы. Инструменты совершенствования / Б. Андерсен. – М.: РИА «Стандарты и качество», 2003. – 272 с.

94. Анфилатов, В.С. Системный анализ в управлении: Учеб .пособие / В.С. Анфилатов, А.А. Емельянов, А.А. Кукушкин; под ред. А.А. Емельянова. – М.: Финансы и статистика, 2002. – 368 с.

95. Архопова, Н.И. Исследование систем управления/ Н.И. Архопова, В.В. Кульба, С.А. Косяченко, Ф.Ю. Чанхиева – М.: «Издательство ПРИОР», 2002. – 384 с.

96. Герасимов, Б.Н. Технологии менеджмента: Монография/ Б.Н. Герасимов, В.В. Морозов – Самара: СГТУ, 2001. – 182 с.

97. Глущенко, В.В. Менеджмент: системные основы/ В.В. Глущенко. – Железнодорожный. Моск. обл.: ТОО НПК «Крым», 1996. – 216 с.

98. Дик, В.В. Методология формирования решений в экономических системах и инструментальные среды из поддержки/ В.В. Дик. – М.: Финансы и статистика, 2000. – 300 с.

99. Малин, А.С. Исследование систем управления: Учебник для вузов / А.С. Малин, В.И. Мухин; Гос. ун-т – Высшая школа экономики. – 3-е изд. – М.: Изд. Дом. ГУВМЭ, 2005. – 399 с.

100. Философские основы моделирования сложных систем управления / М.Н. Андрющенко, Б.Я. Советов, С. А. Яковлев и др. // Системный подход в технических науках (методологические основы): Сб. научн. тр. – Л.: ИН. АНСССР, 1989. – С. 67– 82.

101. Burlov, V., Lepeshkin, O., Lepeshkin, M. Algorithmic support for the dynamic functioning of transport systems in the region IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2020, 918(1), 012224.

102. Burlov, V.G., Lepeshkin, O.M., Lepeshkin, M.O., Solovev, D.B. Organization of Management of Social and Economic Systems of the Region in the Conditions of the Required Technosphere Safety IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2020, 459(2), 022081.

103. Машкина, И.В. Методика построения модели комплексной оценки угроз информации, циркулирующей на объекте информатизации / И.В. Машкина, Е.А. Рахимова, В.И. Васильев //Известия ТРТУ. Материалы VIII научно-практической конференции «Информационная безопасность». – Таганрог: ТРТУ, 2006. С. 70–76.

104. Месарович М., Мако Д., Такахара Н. Теория иерархических систем. – М.: Мир, 1973. – 342 с.

105. Бурков В.И. и др. Теория активных систем и совершенствование хозяйственного механизма. – М.: Наука, 1984. – 271 с.

106. Кунц Г., О'Доннел С. Управление: системный и ситуационный анализ управленческих функций. Пер. с англ. – М.: Прогресс, 1981. Т 1 – 495 с., Т 2 – 512 с.

107. Эшби У.Р. Введение в кибернетику. – М.: Изд-во иностранной литературы, 1959. – 432 с.

108. Управление- это наука и искусство: А. Файоль, Г. Эмерсон, Ф. Тейлор, Г. Форд. – М.: Республика, 1992. – 351 с.

109. Пуг Д.С., Хиксон Д.Дж. Хрестоматия писателя об организациях. Школа менеджмента. – Жуковский: Международный центр дистанционного обучения «Линк», 1989. – 212 с.

110. Зеленская М.К. Исследование организационных структур управления телекоммуникационной компании тензорным методом: дис. … канд. техн. наук: 05.13.01. Красноярск, 2003. 163 с.

111. Тарасов А.А. Функциональная реконфигурация отказоустойчивых систем: монография. – М.: Логос, 2012. – 152 с.

112. Матов В.И. Бортовые вычислительные машины и системы: учеб. пособие для вузов. Под ред В.И. Матова. – М.: Высшая шк., 1988. – 174 с.

113. Надежность, живучесть и безопасность автоматизированных комплексов: Тезисы докладов IV всесоюзного совещания. – М.: ИПУ АН СССР, 1988. – 174 с.

114. Волик Б.Г., Рябинин И.А. Эффективность, надежность и живучесть управляющих систем // Автоматика и телемеханика. 1984. № 12. С. 151-160.

115. Рябинин И.А. Надежность, живучесть и безопасность кораблей // Морской сборник. 1987. № 8. С. 62-65.

116. Рябинин И.А., Черкасов Г.Н. Логико-вероятностные методы исследования надежности структурно-сложных систем. – М.: Радио и связь, 1981. – 216 с.

117. Дружинин Г.В., Сергеева И.В. Качество информации. – М.: Радио и связь, 1990. – 172 с.

118. Крапивин В.Ф. О теории живучести сложных систем. – М.: Наука, 1978. – 248 с.

119. Флейшман Б.С. Элементы теории потенциальной эффективности сложных систем. – М.: Советское радио, 1971. – 224 с.

120. Флейшман Б.С., Крапивин В.Ф. Применение теоретико-игровых методов к оценке живучести сложных систем // Известия АН СССР. Техн. кибернетика. 1967. № 6. С. 14 – 25.

121. Кривощеков С.А. Анализ принципов построения отказоустойчивых вычислительных систем. – М.: Изд-во МАИ, 1985. № 1244.

122. Иыуду К.А., Кривощеков С.А. Математические модели отказоустойчивых вычислительных систем. – М.: Изд-во МАИ, 1989. – 144 с.

123. Растригин Л.А. Адаптация сложных систем. – Рига: Зинатне, 1982. – 375 с., Растригин Л.А. Адаптация архитектуры вычислительных систем // Архитектура и проектирование вычислительных систем. Проблемы адаптации и моделирования. – Рига: Рижский политехнический институт, 1986. С. 5-16.

124. Гуляев В.А., Додонов А.Г., Пелехов С.П. Организация живучих вычислительных структур. – Киев: Научная думка, 1982. – 140 с.

125. Додонов А.Г., Кузнецова М.Г., Горбачик Е.С. Введение в теорию живучести вычислительных систем. – Киев: Научная думка, 1990. 184 с.

126. Додонов А.Г., Горбачик Е.С., Кузнецова М.Г. О функциональной живучести вычислительных систем // Гибридные вычислительные системы и комплексы. 1983. № 6. С. 29-32.

127. Додонов А.Г., Кузнецова М.Г. Распределение ресурсов в живучих вычислительных системах // Гибридные вычислительные системы и комплексы. 1984. № 76. С. 20-23.

128. Додонов А.Г., Кузнецова М.Г. Реконфигурация как средство повышения живучести вычислительных структур // Моделирование и управление в распределенных системах. – Киев: Научная думка, 1988. С. 53-61.

129. Турута Е.Н. Организация распределения задач в вычислительных системах, обеспечивающая их отказоустойчивость // АВТОМАТИКА И ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА. 1985. № 1. С. 5-14.

130. Турута Е.Н. К вопросу о построении отказоустойчивых распределенных управляющих систем // Распределенные системы передачи и обработки информации. – М.: Наука, 1989. С. 183-198.

131. Турута Е.Н. Обеспечение отказоустойчивости многопроцессорных систем путем перераспределения задач отказавших модулей // Системы управления информационных сетей. – М.: Наука, 1983. С. 183-198.

132. Турута Е.Н., Ковалев В.Ш. Об одном методе повышения живучести локальных сетей ЭВМ // Автоматика и вычислительная техника. 1983. № 5. С. 42-44.

133. Семашко А.Н., Касиль Б.В., Пастух А.А. Живучесть параллельных систем обработки информации // Параллельная обработка информации: в 5 т. – Киев: Научная думка. 1988. Т.4.

134. Подлесный Н.И. О живучести сложных систем управления // Системы управления летательных аппаратов, 1978, Вып. 4. с. 18-21.

135. Подлесный Н.И. Живучесть систем управления с микро-ЭВМ // Специальные методы идентификации, проектирования и живучесть систем управления: учебное пособие // Н.И. Подлесный, А.А. Рассоха, С.П. Левков и др. – Киев: Выша шк., 1990. – 446 с.

136. Перегуда А.И., Повякало А.А. Отказоустойчивость и безотказность систем из не восстанавливаемых элементов // Приборы и системы управления. 1989. №11. С. 3-5.

137. Перегуда А.И., Повякало А.А. Отказоустойчивость и безотказность систем из восстанавливаемых элементов // Приборы и системы управления. 1989. №11. С. 5-7.

138. Коваленко А.Е., Гула В.В. Отказоустойчивые микропроцессорные системы. – Киев: Научная думка, 1986. – 150 с.

139. Торгашев В.А. Системы остаточных классов и надежность ЦВМ. – М.: Советское радио, 1973. – 120 с.

140. Богатырев В.А. Мультипроцессорные системы с динамическим перераспределением запросов через общую магистраль // Известия вузов. Серия Приборостроение. 1985. № 1. С. 33-38.

141. Шубинский И.Б и др. Активная защита от отказов управляющих модульных вычислительных систем. – СПб.: Наука, 1993. – 284 с.

142. Хансен Г., Хансен Дж. Базы данных: разработка и управление. – М.: ЗАО «Издательство БИНОМ», 1999.

143. Кроув Т., Эйвисон Д. Базы данных в административных информационных системах. – М.: Финансы и статистика, 1983.

144. Глушков В.М. Введение в АСУ. – Киев: Техника, 1972.

145. Якубайтис Э.А. Архитектура вычислительных сетей. – М.: Статистика, 1980.

146. Справочник разработчика АСУ / Изд. 2-е. – М.: Экономика, 1978.

147. АСУ на промышленном предприятии: методы создания / Справочник, изд. 2-е. – М.: Энергоатомиздат, 1989.

148. Маркс К., Энгельс Ф. Соч. Т. 23. С. 342.

149. А.Г. Ермишян Теоритические основы построения систем военной связи в объединениях и соединениях. Ч1. Методологические основы построения организационно-технических систем военной связи. СПб.: ВАС, 2005. – с 740, с 34-40.

150. Советский энциклопедический словарь. 4-е изд. М.: Сов. Энциклопедия, 1990. – 1632 с.

151. Ожегов С. И. Словарь русского языка. 20-е изд. М.: Рус язык, 1988. – 750 с.

152. Фролов И. Т. Философский словарь. 5-е изд. М.: Политиздат, 1987. 590 с.

153. Секлитова Л. А., Стрельникова Л. Л. Словарь космической философии. М-Амрита-Русь, 2004. 208 с.

154. Рембеза А. И. и др. Надежность и эффективность в технике. Т. 1: Методология. Организация. Терминология. М.: Машиностроение, 1986. 224 с.

155. Першиков В. И., Савинков В. М. Толковый словарь по информатике. М.: Финансы и статистика, 1991. 543 с.

156. Ожегов С. И. и Шведова Н. Ю. Толковый словарь русского языка. 4-е изд. М.: Азбуковник, 1999. 944 с.

157. Управление в системах РАВ. Ч. 1: Основы теории управления и исследование операций. М.: Воениздат, 1980. – 368 с.

158. Шорин В. Г и др. Системный анализ и структуры управления. М.: Знание, 1975. – 304 с.

159. Красносельский Н. И., Воронцов Ю. А., Аппак М. А. Автоматизированные системы управления в связи. М.: Радио и связь, 1988. 272 с.

160. Теория управления: Терминология. М.: Наука, 1988. 56 с.

161. Крук Д. М., Дейнеко О. А. и др. Основы управления социалистическим производством. М.: Экономика, 1985. 255 с.

162. Киллен К. Вопросы управления. М.: Экономика, 1981. 200 с.

163. Большаков А. С., Михайлов В. И. Современный менеджмент: теория и практика. СПб., М., Харьков, Минск: Питер, 2000. 416 с.

164. Карпов Е. А., Котенко И. В., Боговик А. В. и др. Основы теории управления в системах военного назначения: Учебное пособие. Ч. 1. Воен. ун-т связи. СПб., 2000. – 194 с.

165. Асмус В. Ф. Античная философия. Изд-е 3-е. М.: Высшая школа, 1999. 400 с.

166. Платон. Гиппий Больший // Платон. Сочинения: в 4-х т. / под общ. ред. А. Ф. Лосева и В. Ф. Асмуса; пер. с древнегреч. СПб.: Изд-во Санкт-Петербургского ун-та; Изд-во Олега Абышко, 2006. Т. 1. С. 153-192.

167. Аристотель. Политика // Аристотель. Сочинения: в 4-х т. / пер. с древнегреч., общ. ред. А. И. Доватура. М.: Мысль, 1983. Т. 4. С. 375-644.

168. Аристотель. Топика // Аристотель. Сочинения: в 4-х т. / ред. З. Н. Микеладзе. М.: Мысль, 1978. Т. 2. С. 347-531.

169. Дьюи Д. Реконструкция в философии. Проблемы человека / пер. с англ., послесл. и примеч. Л. Е. Павловой. М.: Республика, 2003. 494 с

170. Бэкон Ф. Новый Органон // Бэкон Ф. Сочинения: в 2-х т. / сост., общ. ред. и вступ. ст. А. Л. Субботина. М.: Мысль, 1972. Т. 2. С. 5-222.

171. Декарт Р. Правила для руководства ума // Декарт Р. Сочинения: в 2-х т. / сост., ред., вступ. ст. В. В. Соколова. М.: Мысль, 1989. Т. 1. С. 77-153.

172. Legge K. Human resource management: A critical analysis // New Perspectives in Human Resource Management. L. – N. Y.: Routledge, 1989. P. 19-40.

173. Story J. Human resource management today: An assessment // Story J. Human Resource Management: A critical text. 3rd ed. Cengage Learning EMEA, 2007. P. 3-20.

174. Масамаси С., Давыденко В., Ромашкин Г. Проблемы и парадоксы анализа институционального доверия, как элемента социального капитала современной России // № 1, 2009. – С. 21.

175. Кармизова С.Т. Человеческие ресурсы в системе управления // Электронный вестник Ростовского социально-экономического института. Вып. №1, 2014. – с. 106-112.

176. Розин В. М. Понятие и современные концепции техники. М.: Ин-т философии РАН, 2006. 255 с.

177. Павленко А. Н. Мартин Хайдеггер: сущность современной техники // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия «Философия». 2003. № 1. С. 65-67.

178. Кудрин Б. И. Через тернии к общей и прикладной ценологии // Основы ценологии, технетики, электрики. Антология публикаций и интервью за 2016-1980 гг.: монография. М.: Технетика, 2016. Вып. 57/30. Ценологические исследования. 550 с.

179. Кузьминов А.Н., Палий И.Г., Ансари М. Проблемы философского осмысления сложных технических СМАРТ-систем // Манускрипт. 2020. Том 13. Выпуск 7 с. 89-96 doi.org/10.30853/manuscript.2020.7.16.

180. Кузьминов А. Н. Ценологический экспертный анализ в системе СМАРТ-управления предприятием // Гуманитарные и социально-экономические науки. 2018. № 6. С. 166-168.

181. Vincenti W. G. What engineers know and how they know it. Baltimore, MD: The Johns Hopkins University, 1990. 326 p.

182. Popper K. The logic of scientific discovery. N. Y.: Basic Books, 1959. 513 p.,

183. СТО БР ИББС-1.0-2014 Обеспечение информационной безопасности организаций банковской системы Российской Федерации. Общие положения. – Введ. 2014-06-01. – М., 2014. – 101 с.

184. ГОСТ Р 53114-2008 Защита информации. Обеспечение информационной безопасности в организации. Основные термины и определения. – Введ. 2009-10-01. – М.: Стандартин-форм, 2009. – 20 с.

185. Милославская Н.Г. Построение центров управления сетевой безопасностью в информационно-телекоммуникационных сетях: дис… доктора тех наук 05.13.19, Москва, 2020. – 461 с.

186. РС БР ИББС-2.2-2009 Обеспечение информационной безопасности организаций банковской системы Российской Федерации. Методика оценки рисков нарушения информационной безопасности. – Введ. 2010-01-01. – М., 2009. – 23 с.

187. Иванов А.В. Контроль соответствия в телекоммуникациях и связи. Часть 1 – М.: Компания САЙРУС СИСТЕМС, 2001.

188. Орнаский П. П. Теоретические основы информационно-измерительной техники. Киев, Вища школа, 1976.

189. Карандеев К. Б. Электрические методы автоматического контроля, М., Энергия, 1965.

190. Проектирование и техническая эксплуатация систем передачи: Учеб. пособие для вузов / В.В. Крухмалев, В. Н. Гордиенко, В. И. Иванов и др.; Под ред. В.И. Гордиенко и В. В. Крухмалева. - М.: Радио и связь. 1996. - 344 с.

191. Burlov, V.G., Lepeshkin, O.M., Lepeshkin, M.O., Solovev, D.B. Organization of Management of Social and Economic Systems of the Region in the Conditions of the Required Technosphere Safety IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2020, 459(2), 022081.

192. Остроумов О.А., Лепешкин О.М., Ковалев Д.С. К вопросу о понятии критической информационной инфраструктуры системы управления // Всероссийская межведомственная научно-техническая конференция по теоретическим и прикладным проблемам развития и совершенствования АСУ и связи специального назначения «Наука и АСУ-2020» (Москва, Зеленоград, 20.10.2020): Сборник тезисов. - М.: Изд-во НИУ «МИЭТ», 2020. - с. 61-63.

193. Остроумов О.А., Лепешкин Е.О., Митрофанов М.В. Проблема обеспечения устойчивости функционирования сложных систем // Сборник тезисов докладов XX Всероссийской научной конференции «Нейрокомпьютеры и их применение», 22 марта 2022 года, г. Москва. - М.: МГППУ, 2022. - 233 с., с. 103-104.

194. Остроумов О.А., Лапин С.П., Лепешкин О.М., Черных И.С. Методический подход к комплексной оценке функциональной устойчивости системы связи // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании. XI международная научно-техническая и научно-методическая конференция; сб. научных статей в 4 томах / Под ред. А.В. Шестакова; сост. В.С. Елагин, Е.А. Аникевич. СПб.: СПбГУТ, 2022. Т. 1. 880 с., с. 649-653.

195. Остроумов О.А., Лепешкин О.М., Синюк А.Д., Кулаков В.В.Анализ дестабилизирующих факторов, влияющих на функционирование системы связи // Радиолокация, навигация и связь: сборник трудов XXVII Международной научно-технической конференции, посвященной 60-летию полета в космос Ю.А. Гагарина и Г.С. Титова (г. Воронеж, 29 сентября — 30 сентября 2021 г.): в 4 т. / Воронежский государственный университет; АО «Концерн «Созвездие». - Воронеж: Издательский дом ВГУ, 2021. Т1. - 2021. - 440 с. (с. 55-62).

196. ГОСТ Р 53111-2008 Устойчивость функционирования сети связи общего пользования.

197. ГОСТ Р 52448-2005 Защита информации. Обеспечение сетей электросвязи.

198. https://encyclopedia.mil.ru/encyclopedia/dictionary/ (дата обращения 30.08.2025).

199. Селиванов В.В., Левин Д.П. Оружие нелетального действия: учебник для высших учебных заведений. - М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2017. - 356 с.

200. Макаренко С.И. Аудит безопасности критической информационной инфраструктуры специальными информационными воздействиями. Монография. - Спб.: Наукоемкие технологии, 2018. - 122 с.

201. Меньшаков Ю.К. Защита объектов и информатизации от технических средств разведки. М.: Российский гос. гуманит. университет, 2002. - 399 с.

202. Климов С.М., Поликарпов С.В., Рыжов Б.С., Тихонов Р.И., Шпырня И.В. Методика обеспечения устойчивости функционирования критической информационной инфраструктуры в условиях информационных воздействий // Вопросы кирбербезопасности. 2019. №6. с. 37-48.

203. Паршаков Е.Д. Информационные войны: учебное пособие. - Краматорск: ДГМА, 2012. - 92 с.

204. Цыгичко В.Н. Руководителю о принятии решений. Изд. 3-е перераб. и доп. – М.: КРАСАНД, 2010. – 352 с.

205. Либерман А.Н. Техногенная безопасность: человеческий фактор. СПб., 2006.

206. Цыгичко В.Н., Смолян Г.Л., Солнцева Г.Н. Человеческий фактор как угроза безопасности критически важных объектов // SCIENCES OF EUROPE № 1 (1), 2016.

207. Большой психологический словарь. 4 изд. СПб.:Прайм-еврознак, 2008.

208. Человеческий фактор: в 6-ти томах / под ред.: Г. Салвенди; пер. с англ. под общ. ред. В. П. Зинченко, В. М. Мунипова. М.: Мир, 1991. Т. 6. Эргономика в автоматизированных системах. М.: Мир, 1992.- 499 с.

209. Солнцева Г. Н. Подходы и концепции инженерной психологии // Психология труда, инженерная психология и эргономика / под ред. Е. А. Климова, О. Г. Носковой, Г. Н. Солнцевой: учебник. М.: Юрайт, 2015. Гл. 16.

210. Ильин Е. П. Психология риска. СПб., Питер, 2012., Цыгичко В.Н., Смолян Г.Л., Солнцева Г.Н. Человеческий фактор как угроза безопасности критически важных объектов // SCIENCES OF EUROPE № 1 (1), 2016.

211. Спивак А. В. Развивающееся управление персоналом. СПб.: ИД «Нева», 2004.- 444 с.

212. Смолян Г. Л., Солнцева Г. Н. Человеческий фактор как угроза транспортной безопасности // Труды ИСА РАН, 2014. Т. 64. Вып. 3. С. 81–90.

213. Шпиленя Л.С., Солнцева Н.Е. Психологические аспекты построения профилактических программ // в кн. Здоровый образ жизни и профилактика заболеваний. Уч. пособие 2 изд. испр. и доп., М, «Практика». 2015. С,104-108.

214. Н.И. Воропай Теория систем для электроэнергетиков: Учебное пособие / Н.И.Воропай. - Новосибирск: Наука, Сибирская издательская фирма РАН, 2000. - 273 с.

215. Ляпунов А.М. Общая задача об устойчивости движения. М.-Л.: ГИТТЛ. 1950. 471 с.

216. Феоктистов В. В., Феоктистова О. П., Чернышева И. Н. Александр Михайлович Ляпунов и его задача об устойчивости движения // Наука и образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн. 2015. №7. С. 65-76.

217. Малкин И.Г. Об устойчивости движения в смысле Ляпунова // Математический сборник. Т.3(45). №1. С.47–100.

218. Peiffer K., Rouche N. Liapounov's second method applied to partial stability // J. Mecanique. Vol.8. №2. P.323–334. (Русский перевод: Сборник переводов. Механика. 1970. Т.6:124. С.20–29.).

219. Bellman, 1957

220. Воротников В. И. Основы теории частичной устойчивости и управления [Текст] / В. И. Воротников, В. В. Румянцев ; М-во образования и науки РФ ; ФГАОУ ВПО «УрФУ им. первого Президента России Б.Н.Ельцина», Нижнетагил. технол. ин-т (фил.). – Нижний Тагил : НТИ (филиал) УрФУ, 2014. – 304 с.

221. ГОСТ Р 52863-2007 Автоматизированные системы в защищенном исполнении. Испытания на устойчивость к преднамеренным силовым электромагнитным воздействиям. Общие требования.

222. Обеспечение устойчивости информационно-телекоммуникационных сетей в условиях информационного противоборства/ М.А. Коцыняк, А.И. Осадчий, М.М. Коцыняк, О.С. Лаута, В.Е. Дементьев, Д.Ю. Васюков – СПб.: ЛО ЦНИИС, 2014. – 126 с.

223. ГОСТ Р 27.102-2021 Надежность в технике. Надежность объекта. Термины и определения.

224. ГОСТ 27.002-2015 Надежность в технике. Термины и определения

225. Дмитриенко А.Г., Блинов А.В., Волков Д.В., Волков В.С. Техническая диагностика. Оценка состояния и прогнозирование остаточного ресурса технически сложных объектов. Учебное пособие под ред Д.И. Нефедьева, Б.В Цыпина. – Пенза, 2013. – 62 с.

226. Кочеров Андрей Владимирович Функционирование единой сети связи – показатели устойчивости и текущие результаты контроля 7-я международная конференция «Управление сетями электросвязи» 30 июня 2011, Москва, гостиница «Националь». С. 1-2.

227. Рябинин И.А. Надежность и безопасность структурно-сложных систем. – СПб.: Изд-во Сю-Петербю ун-та, 2007. – 276 с.

228. Половко А.М., Гуров С.В. Надежность технических систем и техногенный риск. СПб.: СПГ Лесотехническая академия, 1998.

229. Надежность автоматизированных систем управления: Учебное пособие для вузов / И.О. Атовмян, А.С. Вайрадян, Ю.П. Руднев, Ю.Н. Федосеев, Я.И. Хетагуров, под общ. ред. Я.И. Хетагурова. – М.: Высш. школа, 1979. – 287 с.

230. Климов С.М. Методы и модели противодействия компьютерным атакам. – Люберцы: КАТАЛИТ, 2008. – 316 с.

231. М.А. Коцыняк, И.А. Кулешов, А.М. Кудрявцев, О.С. Лаута Киберустойчивость информационно-телекоммуникационной сети / – СПб.: Бостон-спектр, 2015. – 150 с.

232. Долгих Ю.В., Эйтингон В.Н. Надежность систем: основное понятия в приложении к организационному управлению // Вестник ВГУ Экономика и управление, № 1, 2003. – с. 56-62.

233. Двилянский А.А. Методология математического моделирования обеспечения функциональной устойчивости объектов критической информационнной инфраструктуры при воздействии электромагнитных импульсов. дис.доктора тех. наук по спец. 05.13.18. – Брянск, 2021, 345 с.

234. Устинов, Г. Н. Концептуальные вопросы обеспечения информационной безопасности ВСС России / Г. Н. Устинов, Р. М. Алгулиев // Технологии и средства связи. 1999. – № 4.

235. Слюсар, В. С. Генераторы супермощных электромагнитных импульсов в информационных войнах / В. С. Слюсар // Электроника. Наука. Технология. Бизнес, 2002, № 5. – С. 60–65.

236. Двилянский А. А. Перспективные решения задачи защиты средств электронно-вычислительной техники в условиях воздействия электромагнитного импульса / Двилянский А. А. // Вестник СОНИИР. – №2 (16), 2005. – С. 58–61.

237. Тарасов А.А. Функциональная устойчивость компьютерных систем как фактор обеспечения их информационной безопасности / В сб. материалов 3-й Всероссийской конференции «Информационная безопасность России в условиях глобального информационного общества», Москва, 2002. - С.193-200.

238. Бородакий Ю.В., Лободинский Ю.Г. Информационные технологии. Методы, процессы, системы. - М.: Радио и связь, 2002. – 451 с.

239. Бородакий Ю.В., Тарасов А.А. О функциональной устойчивости информационно-вычислительных систем // Известия ТРТУ, с. 5-12.

240. Машков О.А. Современные проблемы развития теории функционально устойчивых сложных систем управления.

241. Мишин Д.В., Монахов М.Ю. Об автоматизации процессов обеспечения функциональной устойчивости информационно-технической инфраструктуры АСУП // Известия вузов. Приборостроение. 2012. Т.55. №8. С. 46-49.

242. Монахов, Ю. М. Функциональная устойчивость информационных систем. В 3 ч. Ч. 1. Надежность программного обеспечения : учеб. пособие / Ю. М. Монахов ; Владим. гос. ун-т. – Владимир : Изд-во Владим. гос. ун-та, 2011. – 60 с.

243. Астафьев А.К. Надежность живых систем // Вопросы философии. 1967. № 6. С. 121-130.

244. Епифанов А.Д. Надежность систем управления летательными аппаратами. – М.: Машиностроение, 1975. – 180 с.

245. Пушкин В.Г. Проблема надежности (Философский очерк). – М.: Наука, 1971.

246. Чечкин, А.В. Математическая информатика/ А.В. Чечкин. – М.: Наука, 1991.– 412 с.

247. Чечкин, А.В. Принципы и методы математического моделирования интеллектуальных систем/ А.В. Чечкин // Интеллектуальные системы. – 1998. –Вып. 1–2. – Т.3.

248. Калинин, В.Н. Теория систем и оптимального управления. Часть 2. Понятия, модели и алгоритмы оптимального выбора / В.Н. Калинин, Б.А. Резников, Е.И. Варакин. – М.: МО СССР, 1987. – 590 с.

249. Ильичев, А.В. Эффективность проектируемых сложных систем/ А.В. Ильичев, В.Д. Волков, В.А. Грущанский. – М.: Высшая школа, 1982. – 280 с.

250. Ильичев, А.В. Эффективность проектируемой техники. Основы анализа/ А.В. Ильичев. – М.: Машиностроение, 1991. – 336 с.

251. Ростовцев, Ю.Г. Задачи знакового моделирования. Ч. 1. Методологические аспекты знакового моделирования/ Ю.Г. Ростовцев. – СПб.: ВИКА им. А.Ф. Можайского, 1996.

252. Рыжиков, Ю.И. Управление запасами/ Ю.И. Рыжиков. – М.: Наука, 1969. – 343 с.

253. Петухов, Г.Б. Основы теории эффективности целенаправленных процессов. Часть 1/ Г.Б. Петухов. – МО СССР 1989. – 635 с.

254. Ильичев, А.В. Эффективность проектируемых сложных систем/ А.В. Ильичев, В.Д. Волков, В.А. Грущанский. – М.: Высшая школа, 1982. – 280 с.

255. Цвиркун, А.Д. Основы синтеза структуры сложных систем/ А.Д. Цвиркун. – М.: Наука, 1982. – 200 с.

256. Остроумов О.А., Лепешкин О.М., Савищенко Н.В. Выполнение регламента процесса управления — критерий определения критичности системы // Состояние и перспективы развития современной науки по направлению «Информационная безопасность». Сборник статей III Всероссийской научно-технической конференции. Анапа, 2021. с. 625-634.

257. Остроумов О.А., Савищенко Н.В., Митрофанов М.В., Остроумов М.А., Ракицкий С.Н. Анализ реализации процессного подхода в управлении системой связи // Радиолокация, навигация и связь: сборник трудов XXVII Международной научно-технической конференции, посвященной 60-летию полета в космос Ю.А. Гагарина и Г.С. Титова (г. Воронеж, 29 сентября — 30 сентября 2021 г.): в 4 т. / Воронежский государственный университет; АО «Концерн «Созвездие». - Воронеж: Издательский дом ВГУ, 2021. Т1. - 2021. - 440 с. (с. 62-73).

258. Негойце К. Применение теории систем к проблемам управления/ К. Негойце. – М.: Мир, 1981. – 560 с.

259. Макаров, А.А. Методы и модели согласования иерархических решений/ А.А. Макаров. – Новосибирск: Наука: 1979. – 356 с.

260. Алпеев, А.С. Функциональная безопасность и человеческий фактор/ А.С.

Алпеев // Ядерная и радиационная безопасность. – 2005. – №1(33). – С. 17-20.

261. Мамиконов, А.Г. Синтез оптимальных модульных систем обработки данных/ А.Г. Мамиконов, В.В. Кульба. – М.: Наука, 1986. – 275 с.

262. Аржакова, Н.В. Управление динамикой рынка: системный подход/ Н.В. Аржакова, В.И. Новосельцев, С.А. Редкозубов. – Воронеж: ВГУ, 2004. – 190 с.

263. Спиркин, А.Г. Основы философии: Учеб. пособие/ А. Г. Спиркин. – М.: Политиздат, 1988. – 518 с.

264. Горюнов, В.П. Философия. Учебник. / В. П. Горюнов и др.; под ред. В. П. Горюнова. – М.: «Гардарики», 2005. – 419 с.

265. Афанасьев, В.Г. О целостных системах. / В.Г. Афанасьев //Вопросы философии. 1980. – № 6. – С. 71.

266. Руткевич, М.Н. Диалектический материализм/ М.Н. Руткевич. – М.: Мысль, 1973. – 527 с.

267. Афанасьев, В.Г. Человек и управление обществом/ В.Г. Афанасьев. – М.: Политиздат, 1977, –382с.

268. Афанасьев, В.Г. Системность и общество. / В.Г. Афанасьев. – М. Политиздат. 1980.– 368с.

269. Лепешкин О. М., Остроумов О. А., Синюк А. Д. Систематизация основ методологии синтеза критической информационной инфраструктуры Российской Федерации // Военная мысль. 2021. № 8. с. 109-114.

270. Остроумов О.А. Методология обеспечения процесса устойчивого функционирования системы связи – критически важного объекта системы управления // Военная мысль. 2022. № 9. с. 52-58.

271. Афанасьев, В.Г. Общество: системность, познание и управление. / В.Г. Афанасьев. – М.: Политиздат, 1981. – 432с.

272. Анохин, П. К. Принципиальные вопросы общей теории функциональных систем/ П. К. Анохин // Принципы системной организации функций. – М., «Наука», 1973. – С. 5-61.

273. Бурлов, В.Г. Логико-алгебраическая концепция построения модели системы и ее приложение для синтеза систем защиты НТК 13-15.10.1999г. /В.Г. Бурлов. – СПб.: СПИИРАН, 1999.

274. Анохин, П.К. Кибернетика функциональных систем. Избр. труды/ П.К. Анохин. – М: Медицина 1998. – 400 с.

275. Анохин, П. К. Функциональная система, как методологический принцип биологического и физиологического исследования/ П. К. Анохин // Системная организация

физиологических функций. – М., 1968. – С. 5–7.

276. Анохин, П. К. Теория функциональной системы / П. К. Анохин// Успехи физиологических наук. – 1970. – № 1. – Т. 1. – С. 19–54.

277. Флейшман, Б.С. Об оптимальной структуре сложных решающих систем / Б.С. Флейшман // Известия АН СССР. Техническая кибернетика. – 1963. – №3.

278. Флейшман, Б.С. О живучести сложных систем/ Б.С. Флейшман // Известия АН СССР. Техническая кибернетика. – 1966. – №5.

279. Корченко А.Г. Построение систем защиты информации на нечетких множествах. Теория и практические решения / А.Г. Корченко – К.: «МК–Пресс», 2006 – 320 с.

280. Волкова, В.Н. Основы теории систем и системного анализа/ В.Н. Волкова, А.А. Денисов. – СПб.:СПбГТУ, 1997. – 510 с.

281. Волкова, В.Н. Теория систем: Учебник для студентов вузов. / В.Н. Волкова, А.А. Денисов. – М.: Высшая школа, 2006. – 511 с.

282. Волкова, В. Н. Искусство формализации: От математики – к теории систем, и от теории систем – к математике. / В.Н. Волкова. – СПб.: Изд-во СПбГТУ, 2004. – 200 с.

283. Петухов, Г. Б. Методологические основы внешнего проектирования целенаправленных процессов и целеустремленных систем: монография / Г. Б. Петухов, В. И. Якунин. – М.: АСТ, 2006. – 504 с.

284. Дружинин, В.В. Введение в теорию конфликта/ В.В. Дружинин, Д.С. Конторов, М.Д. Конторов. – М.: Радио и связь, 1989. – 288с.

285. Акимов В. А. Риски в природе, техносфере, обществе и экономике / В. А. Акимов, В. В. Лесных, Н. Н. Радаев; МЧС России. — М.: Деловой экспресс, 2004. - 352 с.

286. Bernstein P.L. Against llir Gods: The Remarkable History of Risk/ Viley, 1999. A New Religion of Risk Management. Harvard Business Review, March — April. 1996.

287. Бурлов В.Г. Теоретические основы социологии управления. СПб.: НПО «Стратегия будущего». 2008 г. – 200 с.

288. Остроумов О.А., Лепешкин О.М., Митрофанов М.В., Кулаков В.В. Методологический подход к комплексной оценке функциональной устойчивости системы связи // В сборнике: Актуальные проблемы защиты и безопасности. Труды XXIV Всероссийской научно-практической конференция РАРАН . В 7-ми томах. Т. 1. Москва. 2021. С. 469-474.

289. Остроумов О.А., Лепешкин О.М., Синюк А.Д., Карпов М.А. Методологический подход управления обеспечением функциональной безопасности и функциональной устойчивости системы связи критически важных объектов и объектов

критической информационной инфраструктуры // В сборнике: FISP-2021: Фундаментальные проблемы информационной безопасности в условиях цифровой трансформации. Сборник докладов III Всероссийской научной конференции (с приглашением зарубежных ученых), 29 ноября – 01 декабря, Ставрополь, Россия, 2021, с. 105-110.

290. Остроумов О.А., Лепешкин О.М., Петухов А.Г. Методологический подход к процессу обеспечения функциональной устойчивости критической информационной инфраструктуры и критически важных объектов // Радиолокация, навигация и связь: сборник трудов XXVIII Международной научно-технической конференции, посвященной памяти Б.Я. Осипова (г. Воронеж, 27 сентября — 29 сентября 2022 г.): в 6 т. / Воронежский государственный университет; АО «Концерн «Созвездие». - Воронеж: Издательский дом ВГУ, 2022. Т1. - 2022. - 407 с (с. 166-172)

291. В.М. Казиев Введение в системный анализ и моделирование. Изд-во БИНОМ. Лаборатория знаний, 2-е издание. 2007. – 244 с.,

292. А.В. Боговик, В.В. Игнатов Теория управления в системах военного назначения. СПб.: ВАС, 2008. – с 460.

293. Фридман Л.М. Основы проблемологии. Серия: Проблемология. М.: Синтег, 2001. 228 с.

294. Райзберг Б.А., Лозовский Л.Ш., Стародубцева Е.Б. Современный экономический словарь. – 2-е изд., испр. М.: ИНФРА-М, 1999. 479 с.

295. Остроумов О.А., Лепешкин О.М., Тесля С.П., Савищенко Н.В. Обеспечение функциональной устойчивости процесса функционирования сложной технической системы // Радиолокация, навигация и связь: сборник трудов XXIX Международной научно-технической конференции, посвященной 70-летию кафедры радиофизики ВГУ (г. Воронеж, 18-20 апреля 2023 г.): в 5 т. / Воронежский государственный университет; АО «Концерн «Созвездие». - Воронеж: Издательский дом ВГУ, 2023. Т1. - 2023. - 446 с (с. 168-177)

296. Остроумов О.А., Лепешкин О. М., Синюк А. Д., Комов А.А., Черных И.С. Проблема обеспечения функциональной устойчивости объектов критической информационной инфраструктуры // В сборнике: Актуальные проблемы защиты и безопасности: Труды XXVI Всероссийской научно-практической конференции Том 1, Санкт-Петербург. 2023. с. 576 – 584.

297. Остроумов О.А., Лепешкин О.М., Черных И.С., Пирогов О.Е. Непрерывность и автономность функционирования системы – элементы ее функциональной устойчивости // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании. XII международная

научно-техническая и научно-методическая конференция; сб. научных статей в 4 томах / Под ред. С.И. Макаренко, сост. В.С. Елагин, Е.А. Аникевич. СПб.: СПбГУТ, 2023. Т. 1. 880 с., с. 770-775.

298. Остроумов О.А., Лепешкин О.М., Синюк А.Д., Остроумов М.А. Подход к обеспечению выполнения функций и задач в сложной технической системе // В сборнике: Проблемы управления безопасностью сложных систем. Материалы XXX международной научно-практической конференции. Москва, 2022. с. 291-297.

299. Бурлов, В. Г., Лепёшкин, О. М., Кирилова, Т. В. Методологический подход к оценке безопасности функционирования социальной и экономической системы управления региона / В. Г. Бурлов, О. М. Лепёшкин, Т. В. Кирилова. //Проблемы экономики и управления в торговле и промышленности. – СПб., – 2013. – № 2. – С. 99–102.

300. Остроумов О.А. Методика обеспечения функциональной устойчивости системы связи Вопросы радиоэлектроники. Сер. Техника телевидения, 2022, вып. 1 с. 30-38.

301. Лаута О.С, Баленко Е.Г., Федоров В.Х., Лепешкин О.М., Остроумов О.А. Метод построения профиля функционирования сложной технической системы // Инженерный вестник Дона, 2023, №2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2023/8183.

302. Остроумов О.А. Построение профиля функционирования сложной технической систем // Электросвязь. № 1, 2026. с. 18-27.

303. Лепешкин О.М., Мануков К.О., Остроумов М.А., Титов С.В., Остроумов О.А. Ранжирование объектов критической информационной инфраструктуры системы связи // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании (АПИНО 2021). Сборник статей X Международной научно-технической и научно-методической конференции. Санкт-Петербург, 2021. с. 289-295.

304. Лепешкин О.М., Лепешкин Е.О., Сагдеев А.К. Методологический подход оценки функциональной безопасности критической социотехнической информационной системы // В сборнике: Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании. Сборник научных статей: в 3-х томах. 2016. – с. 294-299.

305. Лепешкин, О.М., Харечкин, П.В. Анализ моделей разграничения доступа, реализованных в современных социотехнических системах / О.М.Лепешкин, П.В. Харечкин // Инфокоммуникационные технологию. - Самара. – 2008. – №2. – Т.6. – С. 91–93.

306. Угрозы безопасности России на Северном Кавказе / Коллектив авторов; под общ. ред. Н.П. Медведева и П.В. Акинина. – Ставрополь: Ставропольское книжное издательство, 2004. – 336 с.

307. Региональные конфликты и проблемы безопасности Северного Кавказа/ Отв. ред. акад. Г. Г. Матишов, В. А. Аксентьев.– Ростов-на-Дону: Изд-во ЮНЦ РАН, 2008.–384 с.

308. Остроумов О.А., Лепешкин О.М., Синюк А.Д., Черных И.С. Функции и задачи системы связи // Всероссийская межведомственная НТК по теоретическим и прикладным проблемам развития и совершенствования АСУ и связи специального назначения «Наука и АСУ-2020» (Москва, Зеленоград, 20.10.2021): сборник тезисов. - М.: Изд-во НИУ «МИЭТ», 2021 — 91 с. с. 65-66.

309. Остроумов О.А., Лепешкин О.М., Анисимов В.В., Остроумов М.А. К вопросу обеспечения функциональной устойчивости системы связи // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании. XI международная научно-техническая и научно-методическая конференция; сб. научных статей в 4 томах / Под ред. А.В. Шестакова; сост. В.С. Елагин, Е.А. Аникевич. СПб.: СПбГУТ, 2022. Т. 1. 880 с., с. 407-410.

310. Остроумов О.А., Лепешкин О.М., Пермяков Функциональная устойчивость и функциональная безопасность системы связи // Казанские научные чтения студентов и аспирантов имени В.Г. Тимирясова – 2021: материалы XI Международной НПК студентов и аспирантов (17 декабря 2021 г.). Том 1. – Казань: Изд-во «Познание» Казанского инновационного университета, 2022. - 502 с., с. 355-356.

311. Остроумов О.А., Лепешкин О.М., Остроумов М.А., Черных И.С. Методологический подход к оценке функциональной безопасности автоматизированной информационной системы объекта критической информационной инфраструктуры // В сборнике: Актуальные проблемы защиты и безопасности. Труды XXIV Всероссийской научно-практической конференция РАРАН В 7-ми томах. Т. 1. Москва. 2021. С. 496-500.

312. Остроумов О.А., Лепешкин О.М., Остроумов М. А. Обеспечение устойчивого функционирования сложных программно-аппаратных средств системы // Сборник тезисов докладов XXI Всероссийской научной конференции «Нейрокомпьютеры и их применение», 28 марта 2023 года, г. Москва. - М.: МГППУ, 2023. - 207 с., с. 27-28.

313. Остроумов О.А., Кулаков В.В., Лепешкин О.М., Синюк А.Д., Митрофанов М.В. Профиль системы связи, как элемент системы контроля функционирования системе связи // В сборнике: Современные тенденции инженерного образования. Сборник материалов научно-практической конференции. Санкт-Петербург, 2022. с. 204-210.

314. Остроумов О.А., Лепешкин О.М., Остроумов М.А., Синюк А.Д., Вершенник А.В. Профиль функционирования сложной технической системы // Радиолокация, навигация и связь: сборник трудов XXIX Международной научно-технической конференции, посвященной 70-летию кафедры радиофизики ВГУ (г. Воронеж, 18-20 апреля

2023 г.): в 5 т. / Воронежский государственный университет; АО «Концерн «Созвездие». - Воронеж: Издательский дом ВГУ, 2023. Т1. - 2023. - 446 с (с. 121-128).

315. Харечкин, П.В. Анализ моделей разграничения доступа в аспекте функциональной безопасности социотехнических систем/ П.В. Харечкин // Материалы III Всероссийской научной конференции молодых ученых, аспирантов и студентов «Роль системотехники в инженерных исследованиях». – Таганрог, 2009. – 29 с.

316. Бабенко, Л.К. Новые технологии электронного бизнеса и безопасности/ Л.К. Бабенко, В.А. Быков, О.Б. Макаревич, О.Б. Спиридонов.– М.: Гелиос АРВ, 2001.– 374 с.

317. Михайлов Р. Л., Макаренко С. И. Оценка устойчивости сети связи в условиях воздействия на неё дестабилизирующих факторов // Радиотехнические и телекоммуникационные системы. 2013. № 4. С. 69-79.

318. Пермяков А.С., Лепешкин О.М., Митрофанов М.В. Проблемы защищенности информационно-телекоммуникационных сетей специального назначения // В сборнике: Радиолокация, навигация, связь. Сборник трудов XXVI Международной научно-технической конференции. В 6-ти томах. 2020. С. 44-48.

319. Остроумов О.А. Проблема обеспечения функциональной устойчивости систем критически важных объектов. Электросвязь № 1, 2022. с. 14-18.

320. Кондрашов Ю.В., Сатдинов А.И., Синюк А.Д., Остроумов О.А. Концептуальная модель контроля функций системы связи для выявления конфликтных ситуаций. T-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2022. Т. 16. №5. с. 21-27.

321. Груздев Д. А., Закалкин П. В., Кузнецов С. И., Тесля С. П. Мониторинг информационно-телекоммуникационных сетей. Труды учебных заведений связи, 2016, Т. 2, № 4, с. 46-50.

322. I. Kotenko., I. Saenko, O. Lauta et al. An approach to modeling of the security system of intelligent transport systems based on the use of flat graphs // Lecture Notes in Networks and Systems (LNNS). – 2021. – Vol. 330. – P. 440-451.

323. Остроумов О.А., Усов Н.А., Филимонов В.А Подход к обнаружению и автоматической классификации несанкционированных воздействий на информационную телекоммуникационную систему // Информационная безопасность регионов России (ИБРР-2023). XIII Санкт-Петербургская межрегиональная конференция. Санкт-Петербург, 25-27 октября 2023 г.: Материалы конференции / СПОИСУ. – СПб, 2023. -427 с. (с. 171-172).

324. Одоевский С. М., Лебедев П. В. Методика оценки устойчивости функционирования системы технологического управления инфокоммуникационной сетью специального назначения с заданной топологической и функциональной структурой // Системы управления, связи и безопасности. 2021. № 1. С. 152-189. DOI: 10.24411/2410-

9916-2021-10107.

325. Остроумов О.А., Лепешкин О.М., Лебедев П.В., Синюк А.Д. Графо-матричная структурно-функциональная модель сложной технической системы // Проблемы машиностроения и автоматизации. №4, 2025.

326. Коцыняк М. А., Лаута О. С., Нечепуренко А. П., Штеренберг И. Г. Методика оценки устойчивости информационно-телекоммуникационной сети в условиях информационного воздействия // Труды учебных заведений связи. 2016. № 4. С. 82-87 DOI: 10.15688/jvolsu10.2017.2.2.

327. Одоевский С.М., Калюка В.И. Адаптивно-игровое моделирование военных сетей беспроводного абонентского доступа. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2017. – 240 с.

328. Стародубцев Ю.И., Закалкин П.В., Иванов С.А. Техносферная война как основной способ разрешения конфликтов в условиях глобализации // Военная мысль, 2020. № 10, С. 16-21.

329. Стародубцев Ю.И. Управление качеством информационных услуг / Ю.И. Стародубцев, А.Н. Бегаев, М.А. Давлятова. – СПб.: Изд-во Политехн. Ун-та, 2017. – 454 с.

330. Иванов С.А., Стародубцев Ю.И., Вершенник Е.В. Теорема о своевременной передаче переменной нагрузки по каналу связи с памятью и отказами // Системы управления, связи и безопасности. 2021. № 5. С. 15-39. DOI: 10.24412/2410-9916-2021-5-15-39.

331. Карпов М.А, Коцыняк М.А., Перов Р.А., Нечепуренко А.П. Методы обеспечения устойчивости системы защиты информационно-телекоммуникационной сети как динамической управляемой системы // Состояние и перспективы развития современной науки: сборник статей III Всерос. науч.-техн. конф. – Военный инновационный технополис «ЭРА», Анапа, 2021. – С. 690-696.

332. Петренко С. А. Концепция поддержания работоспособности киберсистем в условиях информационно-технических воздействий // Труды ИСА РАН. Т. 41. 2009. с. 175-193.

333. Лысов А.В. Обеспечение безопасности значимых объектов критической информационной инфраструктуры: Уч. пособие. СПб.: Медиапапир, 2019. 314 с.

334. Тарасов А.А. Проблема обеспечения гарантоспособности информационных систем и пути ее решения // Системы безопасности, связи и телекоммуникаций. 2000. № 32. с. 78 - 80.

335. Филатов В.А., Козырь О.Ф. Модель поведения автономного сценария в задачах управления распределенными информационными ресурсами // Инженерный вестник Дона, 2013, №3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2013/1771.

336. Аунг Чжо Мью, Анисимов А.А., Гагарина Л.Г., Портнов Е.М. Методика повышения эффективности управления ресурсоемкими задачами в распределенных вычислительных системах // Инженерный вестник Дона, 2022, №2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2022/6294.

337. Лепешкин О. М., Шуравин А. С., Пермяков А. С., Зройчиков П. С., Шимаров Е. В. Модель контроля информационной безопасности распределенной сети связи // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2020. № 12. с. 250-255.

338. Остроумов О.А., Лепешкин О.М., Пермяков А.С., Михайличенко Н.В. Методика обеспечения функциональной устойчивости системы связи за счет выявления конфликтов // Информатика и автоматизация, 2024. Т. 23. № 1. с. 226-258.

339. ГОСТ Р ИСО 9001-2015. Национальный стандарт Российской Федерации. Системы менеджмента качества. Требования. Введ. Приказом Росстандарта от 28.09.2015 N 1391-ст). М.: Изд-во стандартов, 2016. 45 с.

340. Лепешкин О. М., Остроумов О. А., Черных И. С. Система мониторинга и контроля функционального состояния критически важных объектов и объектов критической информационной инфраструктуры // Нейрокомпьютеры и их применение. Сборник тезисов докладов XIX Всероссийской научной конференции. Москва. 2021. с. 240-243,

341. Burlov V., Uzun O., Grachev M., Faustov S., Sipovich D. Web-based power management and use model (2021) Advances in Intelligent Systems and Computing, 1258 AISC, pp. 629-641. Doi: 10.1007/978-3-030-57450-5_54.

342. Ткалич С.А. Прогнозирование аварийных ситуаций в контуре химводоочистки в рамках системы принятия решения на основе композиционной модели // Инженерный вестник Дона, 2022, №3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2022/7497.

343. Смирнов А.В., Левашова Т.В., Петров М.В. Базовый сценарий поддержки принятия решений на основе моделей жизни пользователей в цифровой среде. Информационно-управляющие системы. 2021. № 4. с. 47-60. doi: 10.31799/1684-8853-2021-4-47-60.

344. Filippo Curti, Jeffrey Gerlach, Sophia Kazinnik, Michael Lee, Atanas Mihov Cyber Risk Definition and Classification for Financial Risk Management // Federal Reserve Bank of Richmond. 2020.

345. Вентцель Е.С. Теория вероятностей: Учеб. Для вузов. – 6-е изд. Стер. – М.: Высш. шк., 1999. – 576 с.

346. Алексеев В.Е., Захаров Д.В. Теория графов: Учебное пособие. – Нижний

Новгород: Нижегородский госуниверситет. 2017. – 119 с.

347. Остроумов О.А., Лепешкин О. М., Синюк А. Д., Кулаков В.В., Черных И.С. Согласование элементов профиля функционирования сложной технической системы // В сборнике: Актуальные проблемы защиты и безопасности: Труды XXVI Всероссийской научно-практической конференции Том 1, Санкт-Петербург. 2023. с. 584 – 590.

348. Дегтярева, Т.Д. Автоматизированные комплексы административных органов управления регионального уровня/ Т.Д. Дегтярева. – Оренбург: ОПТУ, 1995. – 229 с.

349. Девянин, П.Н. Теоретические основы компьютерной безопасности/ П.Н. Девянин – М.: Радио и связь, 2006.– 304 с.

350. Тумоян, Е.П. Метод моделирования компьютерных атак на основе вероятностных автоматов / Е.П. Тумоян // Материалы X Международной научно-практической конференции «Информационная безопасность». Ч. 1. – Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2008 – С. 190 – 194.

351. Кудрявцева Р.Т., Савина И.А., Шарипова И.И. Алгоритм расчета рисков при оценке защищенности организации / Р.Т. Кудрявцева, И.А. Савина, И.И. Шарипова // Материалы VIII научно-практической конференции «Информационная безопасность». Часть 1. – Таганрог: ТРТУ, 2006. – С. 95–98.

352. Лепешкин О.М., Корсунский А.С. Оптимизация структуры комплекса информационно-технических средств в автоматизированных системах управления Автоматизация процессов управления. 2011. № 4. С. 76-81.

353. Yang X., Jia K., Peng Z. Construction of integrated network order system of main distribution network based on power grid operation control platform. Energy Inform 7, 70 (2024). https://doi.org/10.1186/s42162-024-00368-6.

354. Chernyshev L.S. A Method of Optimal Control of a Technical System or Process Using the Neural Network Model and the Thompson Sampling Algorithm. Pattern Recognit. Image Anal. 33, 247–254 (2023). https://doi.org/10.1134/S1054661823030069.

355. Zhang H. The optimal control theory — a scientific approach to fundamentally solving control problems. Sci. China Inf. Sci. 68, 116201 (2025). https://doi.org/10.1007/s11432-024-4180-2.

356. Lamghari Elidrissi H., Nait Sidi Moh A., Tajer A. Modular design and adaptive control of urban signalized intersections systems using synchronized timed Petri nets. Pers Ubiquit Comput 29, 15–29 (2025). https://doi.org/10.1007/s00779-024-01797-6.

357. Menaceur A., Drid H., Rahouti M. Fault Tolerance and Failure Recovery Techniques in Software-Defined Networking: A Comprehensive Approach. J Netw Syst Manage 31, 83 (2023). https://doi.org/10.1007/s10922-023-09772-x.

358. Ahmad I., Clark A., Ali M. Determining critical nodes in optimal cost attacks on networked infrastructures. Discov Internet Things 4, 2 (2024). https://doi.org/10.1007/s43926-023-00054-1.

359. Rossikhina L.V., Orlova D.E., Chertov V.A. Information Support for Decision-Making in the Management of Regional Investment and Construction Projects: A Systematic Approach. Autom. Doc. Math. Linguist. 58, 188–199 (2024). https://doi.org/10.3103/S0005105524700158.

360. Zhang Y., Wang Z., Wang Y. A risk assessment model for similar attack scenarios in industrial control system. J Supercomput 79, 15955–15979 (2023). https://doi.org/10.1007/s11227-023-05269-1.

361. Chang S., Li C., Deng C. Low-latency controller load balancing strategy and offloading decision generation algorithm based on lyapunov optimization in SDN mobile edge computing environment. Cluster Comput 27, 2571–2591 (2024). https://doi.org/10.1007/s10586-023-04012-y.

362. Методы определения весовых коэффициентов (сайт https://gigfbaza.ru/doc/31750.html, дата обращения 15.10.2025).

363. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий. - М.: Радио и связь, 1993. - 278 с.

364. Лепешкин О.М., Р.С. Гаппоев Оптимизация структуры комплекса технических средств в информационно-управляющих системах государственного управления // Научно-техничекие ведомости СпбГПУ. 2011. №5. с. 129-132.

365. Жиленков А.А., Черных С.Г. Система безаварийного управления критически важными объектами в условиях кибернетических атак. Вопросы кибербезопасности. 2020 № 2(36). С. 58-66. DOI:10.21681/2311-3456-2020-2-58-66.

366. Остроумов О.А., Лепешкин О.М., Сикарев И.А. Метод определения критичности элементов сложной технической системы // Проблемы информационной безопасности. Компьютерные системы, № 4(67). 2025. с. 48-58. DOI: 10.48612/jisp/6d8t-megz-2zb1.

367. Остроумов О.А., Лепешкин О.М., Черных И.С., Остроумов М.А. К вопросу о понятии критически важного объекта // Проблемы технического обеспечения войск в современных условиях. Труды VI межвузовской научно-практической конференции. Санкт-Петербург, 2021. с. 17-20.

368. Остроумов О.А., Лепешкин О.М., Остроумов М.А., Спицын О.Л. Подход к категорированию объектов критической информационной инфраструктуры специального назначения // В сборнике: Актуальные проблемы защиты и безопасности. Труды XXIV

Всероссийской научно-практической конференция РАРАН . В 7-ми томах. Т. 1. Москва. 2021. С. 474-480.

369. Vasiltsov, V.S., Krylova, N.P., Sushinskaya, A.V. et al. Information Analysis in Risk Management of BP (Using the Example of Metallurgical Enterprises). Autom. Doc. Math. Linguist. 58, 149–157 (2024). https://doi.org/10.3103/S0005105524700018.

370. Kotenko I., Saenko I., Lauta O., Karpov M. Methodology for management of the protection system of smart power supply networks in the context of cyberattacks // Energies. Vol. 14. № 18. 2021. DOI 10.3390/en14185963.

371. Остроумов О.А., Бычковский М.М., Базир Г.И. Оценка критичности элементов профиля функционирования объектов критической информационной инфраструктуры // Сборник тезисов докладов XXII Всероссийской научной конференции «Нейрокомпьютеры и их применение», 26 ноября 2024 года, г. Москва. - М.: МГППУ, 2024. с. 43-А.

372. Остроумов О.А., Лепешкин О.М., Синюк А.Д. Разработка алгоритмов для автоматизации процесса категорирования объектов критической информационной инфраструктуры сложных технических систем // Радиотехнические и телекоммуникационные системы.

373. Ногин В.Д. Принятие решений при многих критериях. Спб.: ЮТАС, 2007. 104 с.

374. Остроумов О.А., Лепешкин О.М., Синюк А.Д., Митрофанов М.В. Ранжирование критически важных объектов и объектов критической информационной инфраструктуры системы связи // Нейрокомпьютеры и их применение. Сборник тезисов докладов XIX Всероссийской научной конференции. Москва, 2021. с. 238-240.

375. Остроумов О.А. Ранжирование объектов критической информационной инфраструктуры сложных технических систем // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы.

376. Нечипоренко В.И. Структурный анализ и методы построения надежных систем. М.: Сов. радио, 1968. 255 с.

377. Тукеев Д.Л., Зайцев Р.В. Анализ состояния и направления развития систем контроля технического состояния сложных технических систем БИТ 2019 Том 3 № 3 (11).

378. Ефимов А.В., Галкин А.Т. «Надежность и диагностика систем электроснабжения железных дорог» М., УМК МПС, 2000. 512 с.

379. Шеметов А.Н. Надежность электроснабжения: учеб. пособие для студентов специальности 140211 «Электроснабжение». – Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ им. Г.И. Носова», 2006.

380. Гук Ю.Б., М.М. Синенко, В.А. Тремясов. Расчет надежности схем электроснабжения. – Л.: Энергоатомиздат, Ленингр. отд-ние, 1990.– С. 66-70.

381. Остроумов О.А. Модель контроля функционирования системы связи. Известия Тульского государственного университета. Технические науки, № 3, 2022, с. 300-310.

382. Остроумов О.А., Базир Г.И., Бычковский М.М., Лепешкин О. М. Методика предиктивного контроля процесса функционирования сложной технической системы // Вестник Донецкого национального университета. Серия Г: Технические науки. 2025. №3. с. 41-54.

383. Остроумов О.А., Лепешкин О.М., Остроумов М.А., Вершенник А.В. Модель процесса контроля функционирования системы связи на основе теории Марковских случайных процессов // Информация и космос №1. СПб.: ГУАП, 2023 с. 93-104.

384. Вентцель Е.С., Овчаров Л.А. Теория случайных процессов и ее инженерные приложения. – М. : Наука, 1991. – 384 с.

385. Вентцель Е.С. Исследование операций: задачи, принципы, методология.– 2-е изд., стер. – М. : Наука, 1988. – 208 с.

386. Тихонов В.И., Миронов М.А. Марковские процессы. – М. : Сов. Радио, 1977. – 488 с.

387. В.М. Вержбицкий Численные методы (математический анализ и обыкновенные дифференциальные уравнения): Учеб. пособие для вузов. – М.: Высш. шк., 2001. – 382 с.

388. Остроумов О.А., Лепешкин О.М., Черных И.С. Система мониторинга и контроля функционального состояния критически важных объектов и объектов критической информационной инфраструктуры // Нейрокомпьютеры и их применение. Сборник тезисов докладов XIX Всероссийской научной конференции. Москва, 2021. с. 240-243.

389. Остроумов О.А. Контроль профиля функционирования системы связи // В сборнике: Технологии. Инновации. Связь. Сборник материалов научно-практической конференции Санкт-Петербург, 2022, с. 148-152.

390. Остроумов О.А., Лепешкин Е.О., Кулаков В.В., Быков Л.П. Анализ индикации состояний тракта связи – контроль системы связи // В сборнике: Актуальные проблемы защиты и безопасности. Труды XXV Всероссийской научно-практической конференция РАРАН. Москва. 2022. С. 325-329.

391. Остроумов О.А., Лепешкин О.М., Пермяков А.С., Черных И.С., Ларькин В.В. Предиктивный контроль процесса функционирования сложной технической системы //

Радиолокация, навигация и связь: сборник трудов XXIX Международной научно-технической конференции, посвященной 70-летию кафедры радиофизики ВГУ (г. Воронеж, 18-20 апреля 2023 г.): в 5 т. / Воронежский государственный университет; АО «Концерн «Созвездие». - Воронеж: Издательский дом ВГУ, 2023. Т1. - 2023. - 446 с (с. 330-336).

392. Остроумов О.А., Штаненко В. И., Рябов Г. А. Модель предикативного контроля процесса функционирования сложной технической системы // Сборник тезисов докладов XXI Всероссийской научной конференции «Нейрокомпьютеры и их применение», 28 марта 2023 года, г. Москва. - М.: МГППУ, 2023. - 207 с., с. 30.

393. Лепешкин О.М., Пермяков А.С., Шуравин А.С. Анализ возможностей нарушителя по контролю трафика в инфотелекоммуникационной сети // В сборнике: Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании (АПИНО 2020). Сборник научных статей IX Международной научно-технической и научно-методической конференции: в 4 т./т. 1 СПб, 2020. С. 681-688.

394. Портенко Н.И., Скороход А.В., Шуренко В.М. Марковские процессы // Итоги науки и техники. Современные проблемы математики. Фундаментальные направления. – ВИНИТИ, 1989, 46, 2 – с. 5-248.

395. Пермяков А.С., Шуравин А.С., Атнагуллов Т.Н. Модель информационно-телекоммуникационной сети специального назначения // В сборнике: состояние и перспективы развития современной науки по направлению «Информационная безопасность». Сборник статей III Всероссийской НТК. Анапа, 2021. С. 655-663.

396. Синюк, А.Д. Аудит безопасности в системе управления безопасностью взаимодействия на основе использования систем доменных имен / А.Д. Синюк, О.А. Остроумов // Наукоемкие технологии в космических исследованиях Земли. – 2013. – Т. 5, № 2. – С. 52-58,

397. Сурмин, Ю.П. Теория систем и системный анализ: учебное пособие / Ю.П. Сурмин. – К.: МАУП, 2003. – 368 с.

398. Иванова, О.Э. Методология как основание концепции управления человеческими ресурсами / О.Э. Иванова. – Тамбов: Грамота. – Т. 12, вып. 4. – 2019. – С. 81-85. – DOI: 10.30853/manuscript.2019.4.16.

399. Kaufman, B. The development of HRM in historical and international perspective: ed. by P. Boxall, J. Purcell, P. Wright / B. Kaufman // The Oxford Handbook of Human Resourse Management. – Oxford University Press, 2007. – P. 19-47. – DOI: 10.1093/oxfordhb/9780199547029.003.0002.

400. Далио, Р. Принципы. Жизнь и работа / пер. с англ. Ю. Константиновой / Р. Далио. – М.: Манн, Иванов и Фербер, 2018. – 608 с.].

401. Левин, В.И. Логическая теория надежности сложных систем / В.И. Левин. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 128 с.

402. Королев, А.Н. Функциональная устойчивость навигационно-информационных систем / А.Н. Королев // Известия вузов. Приборостроение. – 2018. – Т. 61, № 7. – С. 559-565. – DOI: 10.17586/0021-3454-2018-61-7-559-565.

403. Коцыняк, М.А. Управление системой обеспечения безопасности информационно-телекоммуникационной сети на основе алгоритмов функционирования искусственной нейронной сети / М.А. Коцыняк, М.А. Карпов, О.С. Лаута, В.Е. Дементьев // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2020. – № 4. – С. 3-10.

404. Матвейкин Г.В. Модель функционирования транспортной сети связи специального назначения в условиях воздействия высокоточного оружия и компьютерных атак. Вопросы радиоэлектроники. Сер. Техника телевидения, 2021, вып. 4 с. 22-29.

405. Иванов С.А. Трансформация роли Единой сети электросвязи Российской Федерации в системе военного управления в результате реализации процессов цифровой трансформации и глобализации / С.А. Иванов // Вопросы радиоэлектроники. Сер. Техника телевидения. 2021. Вып. 3. С. 17–23.

406. Haque M. A., De Teyou G. Shetty K., S., Krishnappa B. Cyber Resilience Framework for Industrial Control Systems: Concepts, Metrics, and Insights, 2018 IEEE International Conference on Intelligence and Security Informatics (ISI), Miami, FL, USA, 2018, pp. 25-30, doi: 10.1109/ISI.2018.8587398.

407. Burlov, V., Lepeshkin, O., Lepeshkin, M. Mathematical model for managing energy sector in the region Advances in Intelligent Systems and Computing, 2021, 1258 AISC, стр. 659–668.

408. Burlov, V., Lepeshkin, O., Lepeshkin, M. Mathematical modeling of management of technosphere safety in the region CEUR Workshop Proceedings, 2020, 2711, стр. 228–240.

409. Шостак Р.К., Лепешкин О.М., Новиков П.А., Худайназаров Ю.К. Концептуальное описание модели системы сетевого мониторинга систем связи специального назначения, реализованной в среде радикалов Вопросы оборонной техники. Серия 16: Технические средства противодействия терроризму. 2018. № 5-6 (119-120). С. 66-73.

410. Ахмадиев И. Р., Мартынюк И. А., Новиков П. А. Мониторинг сетей общего пользования в условиях компьютерных атак. Информационные технологии и системы: управление, экономика, транспорт, право, 2019, №2(34), с. 15-18.

411. ГОСТ 23501.101-87 Системы автоматизированного проектирования. Основные положения. М.: Гос. комитет СССР по стандартам, 1988. – 11 с.

412. ГОСТ 22487-77 Проектирование, автоматизированное. Термины и определения. М.: Гос. комитет СССР по стандартам, 1978. – 14 с.

413. Липин А.А. Система автоматизированного проектирования: учеб. пособие / А.А. Липин; Иван. гос. хим.-технол. ун-т. – Иваново, 2018. – 108 с.

414. Муленко В.В. Компьютерные технологии и автоматизированные системы в машиностроении. Учеб. Пособие. – М.: РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, 2015. – 73 с.

415. Ю.Л. Муромцев, Л.П. Орлова, Д.Ю. Муромцев, В.М. Тютюнник Информационные технологии проектирования РЭС. Ч.1: Основные понятия, архитектура, принципы: Учебное пособие. Тамбов: Изд-во Тамбовского гос. тех. ун-та, 2004. – 96 с.

416. Патент RU 2623721 C1, МПК G06F 21/00 (2013.01), Способ проектирования и построения системы защиты автоматизированных систем управления критически важными объектами от разрушающих программных воздействий // Дроботун Е.Б. / Заявка: 2016100332, 11.01.2016, Опубликовано: 28.06.2017 Бюл. № 19.

417. Бысаров А.Г., Шинкаренко А.РИС., Ситало Е.А. Подход к оцениванию важности информационно-технических объектов. СПб.: Труды ВКА им. А.РИС. Можайского. Выпуск 642, 2014.

418. Лысанов И.Ю., Шеянов Д.Ю. Надежность программного обеспечения / Электронное учебное издание. Академия ФСО России, Орёл. – 2014 г.

419. Патент RU 2731358 C1, МПК G06F 11/26 (2006.01) Способ моделирования многоуровневой распределенной информационно-измерительной системы мониторинга и управления транспортной сети связи // Алисевич Е.А., Боговик А.В., Губская О.А., Кривцов С.П., Привалов А.А., Мякотин А.В., Орлова Л.И., Сарафанников Е.В. / Заявка: 2019143532, 20.12.2019, Опубликовано: 02.09.2020, Бюл. № 25.

420. Патент RU 2736528 C1, МПК H04B 17/00 (2015.01) Способ моделирования распределенной сети связи вышестоящей системы управления с необходимым уровнем надежности ее элементов // Анисимов В.Г., Анисимов Е.Г., Малиновский В.С., Сысуев С.Ю., Белов А.С., Трахин Е.Л., Давлятова М.А., Бышовец В.П., Усиков Р.Ф. / Заявка: 2020116932, 12.05.2020, Опубликовано: 17.11.2020 Бюл. № 32.

421. Патент SU 714403 A1, Система оперативного управления процессами нефтедобычи // Щербина В.Г., Саткев Ф.Р. / Заявка 21.11.1977, Опубликовано: 05.02.1980 г., Бюл. № 5.

422. Патент RU 2714610 C1, МПК H04B 17/00 (2015.01) Способ моделирования системы мониторинга для систем военной связи // Анисимов В.Г., Анисимов Е.Г., Буг С.В.,

Гасюк Д.П., Малиновский В.С., Гречишников Е.В., Бондаренко С.О., Белов А.С., Деров М.Н., Трахин Е.Л., Давлятова М.А., Усиков Р.Ф. / Заявка: 2019104642, 19.02.2019, Опубликовано: 18.02.2020, Бюл. № 5.

423. Полезная модель RU 160817 U1, МПК HG06F 17/50 (2006.01) Стенд проектирования систем управления движением корабля с автоматизированной перестройкой структуры // Дорри М.Х., Острецов Г.Э., Рощин А.А. / Заявка: 2015109859/10, 20.03.2015, Опубликовано: 10.04.2016 Бюл. № 10

424. В.Д. Боев. Основы моделирования военно-техническим систем. Часть 1. Учебное пособие. - СПб: МВАА, 2016. - 268 с.]

425. Р.Н. Парахуда, Б.Я. Литвинов Информационно-измерительные системы: Письменные лекции. - СПБ.: СЗТУ, 2002. - 74 с.

426. В.А. Гусев Теория и практика обучения математике: психолого-педагогические основы. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2017. – 456 с.

427. Мишин В.М. Исследование систем управления: учебник для вузов/ Мишин В.М. – Москва: ЮНИТИ-ДАНА, 2017. – 527 с.

428. Н.П. Пучков, Л.И. Ткач Теория множеств в курсе «Математика» для гуманитарных специальностей: Учебно-метод. Рекомендация. Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-т, 2004 – 40 с.

429. Н.М. Попова Измерения в электрических сетях 0, 4…10 кВ. – СПб.: Лань, 2019. – 227 с.

430. В.П. Дьяконов Современная осциллография и осциллографы. – М.: Солон-Пресс, 2010. – 320 с.

431. А.Б. Жапабаева, Р.Д. Каримбаева, Т.К. Мусиралиев, А.А. Абкеев Монтаж, ремонт контрольно-измерительных приборов. – Астана.: НАО Холдинг К., 2018. – 149 с.

432. А.М. Бершадский Методы сравнительного анализа. Учеб. пособие. – Пенза: Изд-во Пенз. гос ун-та, 2008. – 81 с.

433. П.С. Катмаков, В.П. Гавриленко, А.В. Бушов Биометрия. - 2-е изд. Перераб. И доп.. - М.: Издательство Юрайт, 2019. - 177 с.].

434. Патент RU 2445686 C2, МПК G06F 15/177 (2006.01) Способ установки, настройки, администрирования и резервного копирования программного обеспечения // Стручков И.В. / Заявка: 2010102826/08, 21.01.2010, Опубликовано: 20.03.2012 г., Бюл. № 8.

435. Патент RU 2646309 C1, МПК G06F 11/14 (2006.01), G06F 9/455 (2006.01) Способ резервного копирования // Анисимов В.В., Бегаев А.Н., Стародубцев Ю.И., Вершенник Е.В., Чукариков А.Г. / Заявка: 2017113265, 17.04.2017, Опубликовано: 02.03.2018 г., Бюл. № 7.

436. Патент 2742675 Российская Федерация, МПК G06F 9/455 (2006.01), МПК G06F 11/36 (2006.01), Способ установки, контроля и восстановления программного обеспечения, сложных программно-аппаратных объектов патент //Стародубцев Ю.И., Ханарин И.М., Добрышин М.М., Закалкин П.В., Иванов С.А., Локтионов А.Д.; Заявитель и патентообладатель ФГКВОУ ВО Академия ФСО РФ. - 2020124282; заявл. 22.07.2020; опубл. 9.02.2021. бюл. № 4.

437. Патент 2718152 Российская Федерация, МПК G06F 17/10 (2006.01), МПК G06B 23/00 (2006.01), Способ определения оптимальной периодичности контроля состояния сложного объекта // Стародубцев Ю.И., Иванов С.А., Вершенник Е.В., Вершенник А.В., Закалкин П.В., Шевчук А.Л., Карасенко А.О.; Заявитель и патентообладатель Вершенник Е.В. и др. - 2019143358; заявл. 24.12.2019; опубл. 30.03.2020. бюл. № 10.

438. Патент 2764656 Российская Федерация, МПК G06F 17/00 (2006.01), МПК G01R 31/08 (2006.01), МПК G04B 17/00 (2015.01), Способ мониторинга состояния электрических сетей и сетей связи //Стародубцев Ю.И., Лепешкин О.М., Остроумов О.А., Вершенник Е.В., Пермяков А.С., Синюк А.Д., Худайназаров Ю.К., Карпов М.А., Остроумова Е.В., Вершенник А.В.; Заявитель и патентообладатель Стародубцев Ю.И. и др. - 2021113373; заявл. 12.05.2021; опубл. 19.01.2022. бюл. № 2.

439. Патент 2734503 Российская Федерация, МПК G06F 1/00 (2006.01), МПК H04W 16/22 (2009.01), Способ моделирования сети связи с памятью // Стародубцев Ю.И., Иванов С.А., Иванов Н.А., Вершенник Е.В., Закалкин П.В., Стародубцев П.Ю., Белов К.Г., Вершенник А.В.; Заявитель и патентообладатель Стародубцев Ю.И. - 2020116157; заявл. 16.05.2020; опубл. 19.10.2020. бюл. № 29.

440. Патент RU 2787274 C1, МПК G06B 23/00 (2006.01) Способ обеспечения устойчивого функционирования сложного программно-аппаратного объекта сложной функционально-динамической системы // Вершенник Е.В., Лапин С.П., Лепешкин О.М., Остроумов О.А., Карпов М.А., Синюк А.Д., Стародубцев Ю.И., Митрофанова Т.Ю., Черных И.С., Перов Р.А. / Заявка: 2022105983, 12.09.2022, Опубликовано: 09.01.2023, бюл. №1.

441. Остроумов О.А., Лепешкин О.М., Вершенник Е.В., Тесля С.П. Методика обеспечения устойчивого функционирования сложного программно-аппаратного объекта // Известия Тульского государственного университета. Технические науки, № 2, 2023, с. 373-380.

442. Патент RU 2833827 C2, МПК G06B 17/02 (2006.01) Способ автоматизированного управления процессом проектирования и функционирования

сложной технической системы и устройство его реализующее // Бобовкин А.А., Вершенник Е.В., Карпов М.А., Лапин С.П., Лепешкин Е.О., Лепешкин О.М., Митрофанова Т.Ю., Остроумова Е.В., Остроумов О.А., Остроумов М.А., Савищенко Н.В., Синюк А.Д., Стародубцев Ю.И., Перов Р.А., Федулов Ю.В., Черных И.С. / Заявка: 2022109481, 11.04.2022, Опубликовано: 29.01.2025, бюл. №4.

443. Остроумов О.А., Лаута О.С, Баленко Е.Г., Федоров В.Х., Вершенник Е.В. Методика автоматизированного процесса управления построением сложной технической системы / Инженерный вестник Дона, 2023, №1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2023/8179.

444. Остроумов О.А., Лепешкин О.М., Бычковский М.М., Тесля С.П. Устройство автоматизированного управления процессом проектирования и построения сложной технической системы // Прикаспийский журнал управление и высокие технологии //№3(71). 2025. с. 149-157.

445. Патент RU 2236705 C1, МПК G06T 17/40 (2000.01), Способ и система анализа и проектирования сети связи (вариант) // Раппопорт Т.С., Скидмор Р.Р. / Заявка: 2001134294/09, 11.05.2000, Опубликовано: 20.09.2004 г., Бюл. № 26.

446. Патент RU 2331097 C2, МПК G05B 17/00 (2006.01), Способ автоматизированного управления процессом проектирования структуры системы управления техническими системами и устройство для его осуществления // Селифанов В.А., Селифанов В.В. / Заявка: 2007103988/09, 01.02.2007, Опубликовано: 10.08.2008 г., Бюл. № 22.

447. Р. Ньютон Управление проектами от А до Я. М.: Альпина Паблишер, 2012. – с 180 с.

448. Патент RU 2815224 C1, МПК G06B 23/00 (2006.01) Способ обеспечения устойчивого функционирования сложной технической системы // Анисимов В.В., Вершенник Е.В., Лапин С.П., Лаута О.С., Лепешкин Е.О., Лепешкин О.М., Остроумов О.А., Остроумов М.А., Савищенко Н.В., Синюк А.Д., Стародубцев Ю.И., Скоробогатов С.Ю., Черных И.С. / Заявка: 2022124040, 12.09.2022, Опубликовано: 12.03.2024, бюл. №8.

449. Патент RU 2252453 C2, МПК G06N 1/00 (2000.01), Способ моделирования аварий, диагностики и восстановления работоспособности сложной технической структуры и информационная система его реализующая // Смирнов Д.П. / Заявка: 2004124501/28, 12.08.2004, Опубликовано: 20.05.2005, бюл. №14.

450. Патент RU 2413975 C2, МПК G06F 11/00 (2006.01), Способ и вычислительная система отказоустойчивой обработки информации критических функций летательных

аппаратов // Авакян А.А., Сучков В.Н., Искандеров Р.Д., Шурман В.А., Копненкова М.В., Вовчук Н.Г. / Заявка: 2008145071/08, 17.11.2008, Опубликовано: 10.03.2011, бюл. №7.

451. Патент RU 2336566 C2, МПК G06N 1/00 (2006.01), Способ моделирования процессов обеспечения технической готовности сетей связи при технической эксплуатации и система для его реализации // Гречишников Е.В., Поминчук О.В., Иванов В.А., Белов А.С., Карелин Д.А., Дроздов А.С. / Заявка: 2006143248/09, 06.12.2006, Опубликовано: 20.10.2008, бюл. №29.

452. Патент RU 2738730 C1, МПК G06F 11/32 (2006.01), Способ обеспечения отказоустойчивого функционирования перспективного комплекса средств автоматизации командных пунктов военного назначения и устройство, его реализующее // Кардаш С.М., Вишняков А.С., Лясковский В.Л. / Заявка: 2019140684, 09.12.2019, Опубликовано: 16.12.2020, бюл. №35.

453. Патент RU 2405184 C1, МПК G05B 23/00 (2006.01), Способ обеспечения устойчивого функционирования системы связи // Гречишников Е.В., Дыбко Л.К., Ерышов В.Г., Жуков А.В., Стародубцев Ю.И. / Заявка: 2009117902/08, 12.05.2009, Опубликовано: 27.11.2010, бюл. №33.

454. Полезная модель RU 128368 U1, МПК G06N 3/00 (2006.01), Система диагностики, удаленного мониторинга и оценки состояния критически важных объектов // Галкин Р.Н., Смолянский В.П., Глебов В.Ю., Кочетов О.С. / Заявка: 2012129359/08, 12.07.2012, Опубликовано: 20.05.2013, бюл. №14.

455. Полезная модель RU 132579 U1, МПК G05B 15/00 (2006.01), Система контроля и управления транспортной инфраструктурой // Лесун А.Ф., Зайцев Н.И. / Заявка: 2013103925/08, 29.01.2013, Опубликовано: 20.09.2013, бюл. №26.

456. Полезная модель RU 148692 U1, МПК G06F 21/51 (2013.01), Система мониторинга событий компьютерной безопасности // Заводцев И.В., Гайнов А.Е. / Заявка: 2014130506/08, 22.07.2014, Опубликовано: 10.12.2014, бюл. №34.

457. Патент RU 2818495 C2, МПК G06B 23/00 (2006.01) Способ контроля процесса функционирования сложной технической системы и система его реализующая // Анисимов В.В., Остроумов О.А., Бурлов В.Г., Лапин С.П., Лаута О.С., Лепешкин Е.О., Митрофанова Т.Ю., Остроумова Е.В., Савищенко Н.В., Саенко И.Б., Скоробогатов С.Ю., Уйманов А.В., Федоров В.Г., Стародубцев Ю.И., Вершенник Е.В., Лепешкин О.М. / Заявка: 2022124129, 13.09.2022, Опубликовано: 02.05.2024, бюл. №13.

458. Патент RU 2702262 C1, МПК G06B 17/00 (2015.01) Способ мониторинга безопасности системы связи // Лепешкин О.М., Лепешкин М.О., Митрофанов М.В., Новиков П.А., Худайназаров Ю.К., Шостак Р.К., Остроумов О.А. / Заявка: 2018141896,

27.11.18, Опубликовано: 07.10.19, бюл. №28.

459. ГОСТ Р МЭК 60870-5-1-95 Устройства и системы телемеханики. Часть 5. Протоколы передачи. Раздел 1. Форматы передаваемых кадров.

460. ГОСТ Р МЭК 60870-5-104-2004 Устройства и системы телемеханики. Часть 5. Протоколы передачи. Раздел 104. Доступ к сети для ГОСТ Р МЭК 870-5-101 с использованием стандартных транспортных профилей.

461. IEC 61850-5 Communication networks and system sinsubstations-Part5: Communication requirements for functions and device models. 4. IEC 61850-7-2 Communication networks and systems in substations-Part7-2: Basic communication structure for substation and feeder equipment-Abstract communication service interface(ACSI)

462. Патент RU 2210112 C2, МПК G06F 17/00 (2000.01), Унифицированный способ Чернякова / Петрушина для оценки эффективности больших систем // Черняков М.В. / Заявка: 2001115342/09, 07.06.2001, Опубликовано: 10.08.2003, бюл. №22.

463. Патент RU 2364926 C2, МПК G06F 17/00 (2006.01), Способ контроля состояния многопараметрического объекта // Липатников В.А., Максимов Р.В., Стародубцев Ю.И., Хасан А.А., Худайназаров Ю.К., Язжи Мухсен / Заявка: 2007124045/09, 26.06.2007, Опубликовано: 20.08.2009, бюл. №23.

464. Патент RU 2741353 C2, МПК G07C 5/08 (2006.01), Способ мониторинга технического состояния узлов и агрегатов сельскохозяйственной машины // Рехлицкий О.В., Шкирский В.Н., Шапоров А.Н., Казаков В.А., Дакука А.А. / Заявка: 2018139257, 06.11.2018, Опубликовано: 12.05.2020, бюл. №3.

465. Патент RU 2758974 C1, МПК G06F 11/30 (2006.01), Способ комбинированного контроля состояния процесса функционирования автоматизированных систем // Королев И.Д., Стадник А.Н., Коноваленко С.А., Маркин Д.И., Рогозин Е.А., Васильев Д.С. / Заявка: 2021106246, 10.03.2021, Опубликовано: 03.11.2021, бюл. №31.

466. Патент RU 2646321 C1, МПК G06F 17/00 (2006.01), Способ мониторинга состояния электрических сетей и сетей связи // Стародубцев П.Ю., Стародубцев Ю.И., Вершенник Е.В., Чеснаков М.Н. / Заявка: 2017105612, 20.02.2017, Опубликовано: 02.03.2018, бюл. №7.

467. Приказ №43 Минсвязи РФ от 15.04.1996 Нормы на электрические параметры каналов ТЧ магистральной и внутризоновых первичных сетей.

468. Приказ Госкомсвязи РФ №54 от 05.04.1999. Эксплуатационные нормы на электрические параметры коммутируемых каналов сети ТфОП.

469. ОСТ 45.54-95. Стыки оконечных абонентских телефонных устройств и автоматических телефонных станций.

470. ОСТ 45.01-98 Участки кабельные элементарные и секции кабельные линий передачи. Нормы электрические. Методы испытаний.

471. Приказ Министерства информационных технологий и связи Российской Федерации от 27.09.2007 №113 «Об утверждении Требований к организационно-техническому обеспечению устойчивого функционирования сети связи общего пользования».

472. МСЭ-Т Р.862 (02/2001) Perceptual evaluation of speech quality (PESQ): An objective method for end-to-end speech quality assessment of narrowband telephone networks and speech codecs и др

473. Лысов А.В. Телефон и безопасность. Проблемы защиты информации в телефонных сетях / А.В. Лысов, А.Н. Остапенко. - СПб.: Политехника, 1995. - 109 с. (Лаборатория ППШ).

474. Шенченко Н.И. Эконометрика: лабораторный практикум: учебное пособие. - Ульяновск: УлГТУ, 2011. - 117 с.

475. Осипов Г.В., Лисичкин В.А., Математические методы в современных социальных науках: учебное пособие, под. Общ. Ред. В.А. Садовничего. - М.: Норма: ИНФА-М, 2019. - 384 с.

476. М.А. Харченко Корреляционный анализ учебное пособие, Воронеж. 2008. - 31 с. с. 11-12.

477. Загоруйко Н.Г. Прикладные методы анализа данных и знаний. Новосибирск: ИМ СО РАН, 1999. - 270 с.

478. Рубан А.И. Методы анализа данных. Учебное пособие. - Красноярск: ИПЦ КГТУ, 2004. - 319 с.

479. Боровиков В.П. Нейронные сети. Statistica Neural Networks. Методология и технологии современного анализа данных. 2-е изд., перераб. и доп. -М.: Горячая линия - Телеком, 2008. - 392 с.

480. Миркин Б.Г. Введение в анализ данных. Учебник и практикум. - М.: Юрайт, 2015. - 174 с.

481. Остроумов О.А., Лепешкин О.М., Хатыпов Р.Р., Вершенник А.В., Набойченко С.А., Синюк А.Д., Кузнецов А.В., Хабушев Р.Р. Программа для определения значимости элементов сложной технической системы. Свидетельство о государственной регистрации программы № 2023613342, заявка № 2023611380, дата поступления 27.01.2023, дата регистрации 14.02.2023.

482. Остроумов О.А., Лепешкин О.М., Хатыпов Р.Р., Вершенник А.В., Набойченко С.А., Синюк А.Д., Кузнецов А.В., Хабушев Р.Р. Программа для формирования

документов при проведении процедуры категорирования объектов критической информационной инфраструктуры. Свидетельство о государственной регистрации программы № 2023611511, заявка № 2022685690, дата поступления 20.12.2022, дата регистрации 20.01.2023.

483. Остроумов О.А., Лепешкин О.М., Хатыпов Р.Р., Кулаков В.В., Волков Е.Г., Вершенник А.В., Остроумов М.А., Осипенко А.А. Программа для определения категории значимости объектов критической информационной инфраструктуры. Свидетельство о государственной регистрации программы № 2023610363, заявка № 2022685788, дата поступления 22.12.2022, дата регистрации 10.01.2023.

484. Остроумов О.А. Программа отображения и вывода результатов контроля регламентов выполнения профиля процесса функционирования сложной технической системы // Свидетельство о государственной регистрации программы № 2025615337 от 04.03.2025, заявка № 2025612091 от 06.02.2025.

485. Остроумов О.А., Черных И.С., Лепешкин Е.О., Остроумов М.А., Григорьев А.Д. Программа работы сканера по контролю выполнения элементов профиля функционирования сложной технической системы. Свидетельство о государственной регистрации программы № 2025615335 от 04.03.2025, заявка № 2025613099 от 06.02.2025.

486. Остроумов О.А., Черных И.С., Лепешкин Е.О., Лепешкин О.М., Хатыпов Р.Р., Потапов И.А., Остроумов М.А., Григорьев А.Д. Программа работы планировщика процесса функционирования сложной технической системы. Свидетельство о государственной регистрации программы № 2025614739 от 25.02.2025, заявка № 2025612056 от 06.02.2025.

487. Остроумов О.А., Черных И.С., Лепешкин Е.О., Лепешкин О.М., Хатыпов Р.Р., Потапов И.А., Остроумов М.А., Григорьев А.Д. Программа формирования профиля процесса функционирования сложной технической системы // Свидетельство о государственной регистрации программы № 2025614125 от 18.02.2025, заявка № 2025611182 от 20.01.2025.

488. Остроумов О.А. Программа ввода данных в профиль функционирования сложной технической системы. Свидетельство о государственной регистрации программы № 2025612272 от 28.01.2025, заявка № 2025610455 от 20.01.2025.

489. Остроумов О.А. Программа выявления конфликтов профиля и критичности элементов технической системы. Свидетельство о государственной регистрации программы № 2025612271 от 28.01.2025, заявка № 2025610453 от 20.01.2025

490. Остроумов О.А., Лепешкин О.М., Лепешкин Е.О., Остроумов М.А., Волков Е.Г., Вершенник А.В. База данных конфликтов, возникающих в процессе функционирования сложной динамической системы, и сценариев их устранения. Свидетельство о

государственной регистрации базы данных № 2023620885, заявка № 2023620194, дата поступления 27.01.2023, дата регистрации 15.03.2023.

491. Остроумов О.А., Лепешкин О.М., Лепешкин Е.О., Хатыпов Р.Р., Черных И.С., Остроумов М.А., Кулаков В.В., Вершенник А.В., Волков Е.Г. База исходных данных для построения профиля функционирования сложной динамической системы. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2023620876, заявка № 2023620183, дата поступления 27.01.2023, дата регистрации 14.03.2023.

492. Остроумов О.А., Лепешкин О.М., Хатыпов Р.Р., Черных И.С., Остроумов М.А., Волков Е.Г., Анисимов В.В., Уйманов А.В., Вотинов М.Л., Федоров В.Г., Синюк А.Д., Набойченко С.А., Лепешкин Е.О., Савищенко Н.В. База данных требований, предъявляемых к сложной динамической системе, и дестабилизирующих факторов, влияющих на ее функционирование. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2023620973, заявка № 2023620655, дата поступления 06.03.2023, дата регистрации 23.03.2023.

493. Burlov V., Lepeshkin O., Lepeshkin M. 2020 Parameters of the synthesized model of management of technosphere safety in the region E3S Web of Conferences, Topical Problems of Green Architecture, Civil and Environmental Engineering 2019 (TPACEE 2019) vol 164 07011 DOI: https://doi.org/10.1051/e3sconf/202016407011

494. Остроумов О.А., Лепешкин О.М., Синюк А.Д., Филимонов В.А. Оптимизация профиля функционирования сложной технической системы // Информационно-управляющие системы, 2023. № 4(125). с. 12-25.

495. Оре О. Графы и их применение. - М.: Мир, 1965. - 174 с.

496. Арсеньев В. Н., Хомоненко А. Д., Ядренкин А. А. Взвешенный учет априорной и опытной информации в задаче оценивания эффективности функционирования системы управления при распределении числа испытаний по закону Паскаля. Информационно-управляющие системы, 2020, № 3, с. 39–47. doi:10.31799/1684-8853-2020-3-39-47.

497. Беляков М. И. Модель процесса функционирования системы обеспечения информационной безопасности объекта критической информационной инфраструктуры в задаче оценивания его эффективности. Вопросы оборонной техники. Серия 16: Технические средства противодействия терроризму, 2020, № 11-12 (149-150), с. 71–75.

498. Сухов А. М., Крупенин А. В., Якунин В. И. Методы анализа и синтеза исследования эффективности процессов функционирования системы обнаружения предупреждения и ликвидации последствий компьютерных атак. Автоматизация процессов управления, 2021, № 4 (66), с. 4–14.

**ПРИЛОЖЕНИЕ А**

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

**№ 2764656**

**Способ мониторинга состояния электрических сетей и сетей связи**

Патентообладатель: ***Стародубцев Юрий Иванович (RU)***

Авторы: ***Стародубцев Юрий Иванович (RU), Лепешкин Олег Михайлович (RU), Остроумов Олег Александрович (RU), Вершевник Елена Валерьевна (RU), Пермяков Александр Сергеевич (RU), Синюк Александр Демьянович (RU), Худайназаров Юрий Кахрамонович (RU), Карпов Михаил Андреевич (RU), Остроумова Елена Викторовна (RU), Вершинин Алексей Васильевич (RU)***

Заявка № **2021113373**

Приоритет изобретения **12 мая 2021 г.**

Дата государственной регистрации в Государственном реестре изобретений Российской Федерации **19 января 2022 г.**

Срок действия исключительного права на изобретение истекает **12 мая 2041 г.**

*Руководитель Федеральной службы по интеллектуальной собственности*

Г.П. Ивлиев

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

# ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

**№ 2815224**

## Способ обеспечения устойчивого функционирования сложной технической системы

Патентообладатель: ***Стародубцев Юрий Иванович (RU)***

Авторы: ***Анисимов Василий Вячеславович (RU), Вершенник Елена Валерьевна (RU), Лапин Степан Павлович (RU), Лаута Олег Сергеевич (RU), Лепешкин Олег Михайлович (RU), Лепешкин Евгений Олегович (RU), Остроумов Олег Александрович (RU), Остроумов Максим Александрович (RU), Савищенко Николай Васильевич (RU), Синюк Александр Демьянович (RU), Стародубцев Юрий Иванович (RU), Скоробогатов Сергей Юрьевич (RU), Черных Илья Сергеевич (RU)***

Заявка № **2022124040**
Приоритет изобретения **12 сентября 2022 г.**
Дата государственной регистрации
в Государственном реестре изобретений
Российской Федерации **12 марта 2024 г.**
Срок действия исключительного права
на изобретение истекает **12 сентября 2042 г.**

*Руководитель Федеральной службы*
*по интеллектуальной собственности*

*Ю.С. Зубов*

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

# ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

**№ 2818495**

## Способ контроля процесса функционирования сложной технической системы и система, его реализующая

Патентообладатель: *Стародубцев Юрий Иванович (RU)*

Авторы: *Анисимов Василий Вячеславович (RU), Вершенник Елена Валерьевна (RU), Бурлов Вячеслав Георгиевич (RU), Лапин Степан Павлович (RU), Лаута Олег Сергеевич (RU), Лепешкин Евгений Олегович (RU), Лепешкин Олег Михайлович (RU), Митрофанова Татьяна Юрьевна (RU), Остроумова Елена Викторовна (RU), Остроумов Олег Александрович (RU), Савищенко Николай Васильевич (RU), Саенко Игорь Борисович (RU), Синюк Александр Демьянович (RU), Стародубцев Юрий Иванович (RU), Скоробогатов Сергей Юрьевич (RU), Уйманов Андрей Викторович (RU), Федоров Вадим Геннадьевич (RU), Черных Илья Сергеевич (RU)*

Заявка № **2022124129**
Приоритет изобретения **13 сентября 2022 г.**
Дата государственной регистрации в Государственном реестре изобретений Российской Федерации **02 мая 2024 г.**
Срок действия исключительного права на изобретение истекает **13 сентября 2042 г.**

*Руководитель Федеральной службы по интеллектуальной собственности*

*Ю.С. Зубов*

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

# ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

**№ 2787274**

## Способ обеспечения устойчивого функционирования сложного программно-аппаратного объекта сложной функционально-динамической системы

Патентообладатель: ***Стародубцев Юрий Иванович (RU)***

Авторы: ***Стародубцев Юрий Иванович (RU), Остроумов Олег Александрович (RU), Вершенник Елена Валерьевна (RU), Лепешкин Олег Михайлович (RU), Синюк Александр Демьянович (RU), Перов Роман Александрович (RU), Карпов Михаил Андреевич (RU), Митрофанова Татьяна Юрьевна (RU), Черных Илья Сергеевич (RU), Лапин Степан Павлович (RU)***

Заявка № **2022105983**
Приоритет изобретения **08 марта 2022 г.**
Дата государственной регистрации
в Государственном реестре изобретений
Российской Федерации **09 января 2023 г.**
Срок действия исключительного права
на изобретение истекает **08 марта 2042 г.**

*Руководитель Федеральной службы по интеллектуальной собственности*

*Ю.С. Зубов*

**Общество с ограниченной ответственностью**
**Научно-производственное предприятие**
**«Новые Технологии Телекоммуникаций»**
**(ООО НПП «НТТ»)**
**Софьи Ковалевской ул., д. 20, корп. 1, лит. А, пом. 22Н**
**Санкт-Петербург, 195256**
**тел./факс 8 (812) 244-33-16**
**E-mail: info-service@nppntt.ru**
**ОКПО 72406883, ОГРН 1047806004828**
**ИНН/КПП 7804177339/780401001**

от 26.01.2026 № 012026/15

**На №** _____ **от** _____

Экз. № 1

УТВЕРЖДАЮ
Директор ООО НПП «НТТ»
В.Ю. Горовой
«13» 01 2026 г.

**АКТ** № 4 от «13» января 2026 года
реализации результатов диссертационной работы
ОСТРОУМОВА Олега Александровича

Комиссия в составе: председатель комиссии – начальника перспективных исследований ООО НПП «НТТ» доктора технических наук, старшего научного сотрудника Агиевича Сергей Николаевича и членов комиссии – ведущего инженера-программиста отдела перспективных исследований ООО НПП «НТТ», кандидата технических наук Беспалова Вячеслава Леонидовича, инженера-программиста 2 категории отдела перспективных исследований, кандидата технических наук Гусельникова Андрея Станиславовича составила настоящий акт в том, что научно-технические предложения диссертационной работы преподавателя кафедры Военной академии связи Остроумова О.А. по:

– проектированию и построению сложной технической системы;

– обеспечению устойчивого функционирования сложной технической системы;

– автоматизированному управлению процессом проектирования и функционирования сложной технической системы;

– контролю процесса функционирования сложной технической системы

реализованы при выполнении научно-исследовательских работ в ООО НПП «НТТ» (г. Санкт-Петербург) – шифр «Эдикт» и «Заполярье» в части совершенствования системы управления системы, что позволило обеспечить выполнение 95% планируемых в системе задач.

Акт рассмотрен на заседании научно-технического семинара в ООО НПП «НТТ», протокол № 35 от 13.01.2026 г.

Председатель комиссии С.Н. Агиевич

Члены комиссии: А.С. Гусельников

В.Л. Беспалов

«13» 01 2026 г.

ЗАЩИЩЕННЫЕ СИСТЕМЫ

Акционерное общество «Защищенные системы»
109316, город Москва, ул Талалихина,
д. 41 стр. 9, помещ. 14/6
ОКПО 57269845, ОГРН 1247700525820,
ИНН/КПП 9722081132/772201001
E-mail: info@psys.pro http://psys.pro

Начальнику Военной академии связи
им. С.М. Буденного,
Тучину Г.А.

Исх. № 112 от 25.12.2025

на №_____от_____

АКТ
реализации результатов диссертационной работы
Остроумова Олега Александровича
на тему:
«Методы обеспечения функциональной устойчивости информационно-управляющей системы аэрогеофизического назначения»

Настоящим подтверждаю, что методы построения профиля функционирования информационно-управляющих систем, методы контроля функционирования информационно-управляющих систем и методы определения критичности элементов информационно-управляющих систем, представленные, в диссертационной работе Остроумова О.А. были успешно внедрены в практическую деятельность и в продукты компании АО «Защищенные системы».

Данные технологии позволили компании АО «Защищенные системы» создавать сложные защищенные информационно-управляющие системы с необходимым уровнем устойчивости и непрерывностью функционирования, а также, в процессе функционирования таких систем, обеспечивать выполнение до 99% критически важных задач и 91% не критически важных задач.

Директор
по стратегии и развитию,
к.ф.-м.н. Ставцев А.В.

УТВЕРЖДАЮ
ВрИО начальника связи
Южного военного округа
подполковник
Е. Еманов
«29» 04 2023 г.

АКТ
о реализации результатов исследования

Комиссия в составе: председателя – старшего офицера отдела планирования организации связи и применения АСУ управления связи ЮВО подполковника Деркач А. Е., членов комиссии: офицера отдела ТОС и АСУ управления связи ЮВО майора Козлякова Д. К., офицера отдела ТОС и АСУ управления связи ЮВО капитана Ваулина В.Н. - составила настоящий акт о том, что в управлении связи Южного военного округа в ходе специальной военной операции, реализованы результаты диссертационной работы подполковника Остроумова О.А., а именно «Научно-технические решения по обеспечению функциональной устойчивости сети передачи данных», в части касающегося построения сети передачи данных, обеспечения устойчивого функционирования сложного программно-аппаратного средства сети передачи данных системы связи и контроля процесса функционирования ее элементов.

Предлагаемое подполковником Остроумовым О.А. решение обладает практической значимостью, потому что позволяет обеспечить выполнение требуемого перечня задач и функций, выполняемых элементами сети передачи данных штаба Южного военного округа.

| | | |
|---|---|---|
| Председатель комиссии: | подполковник | А. Деркач |
| Члены комиссии: | майор | Д. Козляков |
| | капитан | В. Ваулин |

УТВЕРЖДАЮ
Заместитель руководителя
ФГУП «18 ЦНИИ» МО РФ
по научной работе

А. Романенко

«25» февраля 2026 г.

**АКТ**

реализации научных результатов диссертационного исследования
Остроумова Олега Александровича

Комиссия в составе:
председатель комиссии: начальник управления Манойлов Д.В.;
члены комиссии: начальник отдела Букин Д.В.;
главный научный сотрудник Гатилов И.Л., д. т. н.
составили настоящий акт о том, что результаты диссертационной работы Остроумова О.А. использованы в ОКР «Рецепт», выполняемой ФГУП «18 ЦНИИ» МО РФ, для обоснования тактико-технических требований к перспективным средствам вооружения, военной и специальной техники.

Использование результатов диссертационной работы Остроумова О.А. позволило разработать модель процесса контроля функционирования специальной технической системы и оптимизировать процесс её функционирования.

Акт выдан для предоставления в диссертационный совет.

Председатель комиссии Д. Манойлов
Члены комиссии: Д. Букин
И. Гатилов

«25» февраля 2026 г.

УТВЕРЖДАЮ
Врио заместителя начальника Военной академии связи
по научной и учебной работе
полковник
В.Говоров
«5» 11 2025 г.

**АКТ**

реализации результатов диссертационной работы
подполковника Остроумова Олега Александровича

Комиссия в составе: председателя – начальника научно-исследовательского центра полковника Лауты О.С. и членов комиссии – начальника научно-исследовательского отдела научно-исследовательского центра подполковника Карпова М.А., старшего научного сотрудника научно-исследовательского отдела научно-исследовательского центра майора Дворникова С.С. составила настоящий акт в том, что результаты диссертационной работы старшего преподавателя кафедры Военной академии связи подполковника Остроумова О.А. метод обеспечения функциональной устойчивости информационно-управляющей системы сложной технической системы реализованы в научно-исследовательской работе «Разработка организационно-технических решений, обеспечивающих построение в регионах Российской Федерации устойчивой системы связи государственного управления на случай угрозы возникновения или возникновения чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера, а также введения военного положения» (шифр «Регион») в части построения и совершенствования системы управления Ленинградской области, что позволило повысить эффективность функционирования и функциональную устойчивость системы управления регионом на 14 % за счет выявления конфликтов.

Председатель комиссии: полковник, д.т.н. О.Лаута

Члены комиссии: подполковник, к.т.н. М.Карпов

майор, к.т.н. С.Дворников

«30» 09 2025 г.

УТВЕРЖДАЮ

Врио заместителя начальника Военной академии связи
по научной и учебной работе
полковник

В.Говоров

«___» _____ 2025 г.

**АКТ**

реализации результатов диссертационной работы
подполковника Остроумова Олега Александровича

Комиссия в составе: председателя – начальника научно-исследовательского центра полковника Лауты О.С. и членов комиссии – начальника научно-исследовательского отдела научно-исследовательского центра подполковника Карпова М.А., старшего научного сотрудника научно-исследовательского отдела научно-исследовательского центра майора Дворникова С.С. составила настоящий акт в том, что результаты диссертационной работы старшего преподавателя кафедры Военной академии связи подполковника Остроумова О.А. научно-технические предложения по:

– проектированию и построению сложной технической системы;

– обеспечению устойчивого функционирования сложной технической системы;

– автоматизированному управлению процессом проектирования и функционирования сложной технической системы;

– контролю процесса функционирования сложной технической системы;

реализованы в научно-исследовательской работе «Разработка организационно-технических решений, обеспечивающих построение в регионах Российской Федерации устойчивой системы связи государственного управления на случай угрозы возникновения или возникновения чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера, а также введения военного положения» (шифр «Регион») в части построения и совершенствования системы управления Ленинградской области, что позволило повысить эффективность функционирования и функциональную устойчивость системы управления регионом, что способствовало выполнению 90% задач, выполняемых системой.

Председатель комиссии: полковник, д. т. н. О.Лаута

Члены комиссии: подполковник, к. т. н. М.Карпов

майор, к. т. н. С.Дворников

«30» октября 2025 г.

УТВЕРЖДАЮ

Врио заместителя начальника Военной академии связи
по научной и учебной работе
полковник

В.Говоров

«11» 11 2025 г.

**АКТ**

реализации результатов диссертационной работы
подполковника Остроумова Олега Александровича

Комиссия в составе: председателя – начальника научно-исследовательского центра полковника Лауты О.С. и членов комиссии – начальника научно-исследовательского отдела научно-исследовательского центра подполковника Карпова М.А., старшего научного сотрудника научно-исследовательского отдела научно-исследовательского центра майора Дворникова С.С. составила настоящий акт в том, что результаты диссертационной работы старшего преподавателя кафедры Военной академии связи подполковника Остроумова О.А. научно-технические предложения по:

– проектированию и построению сложной технической системы;

– обеспечению устойчивого функционирования сложной технической системы;

– автоматизированному управлению процессом проектирования и функционирования сложной технической системы;

– контролю процесса функционирования сложной технической системы;

реализованы в научно-исследовательской работе «Разработка организационно-технических решений, обеспечивающих построение в регионах Российской Федерации устойчивой системы связи государственного управления на случай угрозы возникновения или возникновения чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера, а также введения военного положения» (шифр «Регион») в части построения и совершенствования системы управления Ленинградской области, что позволило повысить эффективность функционирования и функциональную устойчивость системы управления регионом, что способствовало выполнению 90% задач, выполняемых системой.

Председатель комиссии: полковник, д. т. н. О.Лаута

Члены комиссии: подполковник, к. т. н. М.Карпов

майор, к. т. н. С.Дворников

«30» октября 2025 г.

УТВЕРЖДАЮ

Врио заместителя начальника
военной академии связи
по учебной и научной работе
полковник

В. Гель

«__» _____ 2022 г.

**АКТ № 16**

о реализации результатов исследований в ходе исполнения
научно-исследовательской работы шифр «Свертка-2018-ВАС»

Комиссия в составе:
председателя – полковника Бардюкова Д. А., членов комиссии: подполковника Лаута О.С., подполковника Худайназарова Ю. К. составила настоящий акт в том, что в ходе выполнения научно-исследовательской работы шифр «Свертка-2018-ВАС», проводимой Военной академией связи в 2018-2019 гг., были реализованы следующие результаты исследований докторанта 32 кафедры майора Остроумова О.А. (раздел 2.3.3 итогового отчета о НИР):

1.Способ мониторинга состояния системы связи специального назначения.

Председатель комиссии: полковник, к.т.н. Д.Бардюков

Члены комиссии: подполковник, д.т.н. О.Лаута

подполковник, к.т.н. Ю.Худайназаров

«1» 06 2022 г.

УТВЕРЖДАЮ

Врио заместителя начальника
военной академии связи
по учебной и научной работе
полковник

В. Гель

«1» 06 2022 г.

**АКТ № 13**

о реализации результатов исследований в ходе исполнения
научно-исследовательской работы шифр «Свертка-2018-ВАС»

Комиссия в составе:
председателя – полковника Бардюкова Д. А., членов комиссии: подполковника Лаута О.С., подполковника Худайназарова Ю. К. составила настоящий акт в том, что в ходе выполнения научно-исследовательской работы шифр «Свертка-2018-ВАС», проводимой Военной академией связи в 2018-2019 гг., были реализованы следующие результаты исследований докторанта 32 кафедры майора Остроумова О.А. (раздел 2.1.3 итогового отчета о НИР):

1. Методика формирования профиля функционирования системы связи специального назначения

Председатель комиссии: полковник, к.т.н. Д.Бардюков

Члены комиссии: подполковник, к.т.н. О.Лаута

подполковник, к.т.н. Ю.Худайназаров

«1» 06 2022 г.

УТВЕРЖДАЮ

Врио заместителя начальника
военной академии связи
по учебной и научной работе
полковник

В. Гель

«16» 05 2022 г.

**АКТ № 11**

о реализации результатов исследований в ходе исполнения
научно-исследовательской работы шифр «Технология-ВАС/19»

Комиссия в составе:
председателя – полковника Бардюкова Д. А., членов комиссии: подполковника Лаута О. С., подполковника Худайназарова Ю. К. составила настоящий акт в том, что в ходе выполнения научно-исследовательской работы шифр «Технология-ВАС/19», проводимой Военной академией связи в 2019-2020 гг., были реализованы следующие результаты исследований докторанта 32 кафедры майора Остроумова О.А.:

1. Раздел 3.3.2 «Метод контроля процесса функционирования системы связи специального назначения».

Председатель комиссии: полковник, к.т.н. Д.Бардюков

Члены комиссии: подполковник, д.т.н. О.Лаута

подполковник, к.т.н. Ю.Худайназаров

«16» 05 2022 г.

УТВЕРЖДАЮ
Врио заместителя начальника
военной академии связи
по учебной и научной работе
полковник
В. Гель
«16» 05 2022 г.

**АКТ № 12**

о реализации результатов исследований в ходе исполнения научно-исследовательской работы шифр «Технология-ВАС/19»

Комиссия в составе:
председателя – полковника Бардюкова Д. А., членов комиссии: подполковника Лаута О. С., подполковника Худайназарова Ю. К. составила настоящий акт в том, что в ходе выполнения научно-исследовательской работы шифр «Технология-ВАС/19», проводимой Военной академией связи в 2019-2020 гг., были реализованы следующие результаты исследований докторанта 32 кафедры майора Остроумова О.А.:
Раздел 3.1.1 «Методика определения критичности объекта системы связи».

Председатель комиссии: полковник, к.т.н. Д.Бардюков

Члены комиссии: подполковник, д.т.н. О.Лаута

подполковник, к.т.н. Ю.Худайназаров

«16» 05 2022 г.

УТВЕРЖДАЮ
Врио заместителя начальника Военной академии связи
по научной и учебной работе
полковник
В.Говоров
«5» 11 2025 г.

**АКТ**
реализации результатов диссертационной работы
подполковника Остроумова Олега Александровича

Комиссия в составе: председателя – начальника научно-исследовательского центра полковника Лауты О.С. и членов комиссии – начальника научно-исследовательского отдела научно-исследовательского центра подполковника Карпова М.А., старшего научного сотрудника научно-исследовательского отдела научно-исследовательского центра майора Дворникова С.С. составила настоящий акт в том, что результаты диссертационной работы старшего преподавателя кафедры Военной академии связи подполковника Остроумова О.А. методология обеспечения функциональной устойчивости информационно-управляющей системы реализованы в научно-исследовательской работе «Исследование тенденций технологического развития системы связи Вооруженных сил Российской Федерации на период до 2035 года с учетом перспективных инфотелекоммуникационных технологий и опыта построения системы связи при ведении военных действий по опыту СВО» (шифр «Развитие-2025»).

Председатель комиссии: полковник, д.т.н. О.Лаута

Члены комиссии: подполковник, к.т.н. М.Карпов

майор, к.т.н. С.Дворников

«30» октября 2025 г.

УТВЕРЖДАЮ
Врио заместителя начальника Военной академии связи
по научной и учебной работе
полковник В.Говоров
«5» 7 2025 г.

**АКТ**
реализации результатов диссертационной работы
подполковника Остроумова Олега Александровича

Комиссия в составе: председателя – начальника научно-исследовательского центра полковника Лауты О.С. и членов комиссии – начальника научно-исследовательского отдела научно-исследовательского центра подполковника Карпова М.А., старшего научного сотрудника научно-исследовательского отдела научно-исследовательского центра майора Дворникова С.С. составила настоящий акт в том, что результаты диссертационной работы старшего преподавателя кафедры Военной академии связи подполковника Остроумова О.А. метод построения профиля функционирования информационно-управляющей системы сложной технической системы реализованы в научно-исследовательской работе «Исследование тенденций технологического развития системы связи Вооруженных сил Российской Федерации на период до 2035 года с учетом перспективных инфотелекоммуникационных технологий и опыта построения системы связи при ведении военных действий по опыту СВО» (шифр «Развитие-2025») в части совершенствования системы управления системы связи, что позволило уменьшить количество ресурсов системы, используемых для ее функционирования, на 13 % за оптимизации структуры системы.

Председатель комиссии: полковник, д.т.н. О.Лаута

Члены комиссии: подполковник, к.т.н. М.Карпов

майор, к.т.н. С.Дворников

«30» 09 2025 г.

«УТВЕРЖДАЮ»
КОМАНДИР ВОЙСКОВОЙ ЧАСТИ 95385
полковник
А.Карпов
«16» 12 2025 г.

**АКТ**

реализации результатов диссертационной работы
подполковника Остроумова Олега Александровича

Комиссия в составе: председателя – заместителя начальника отдела по связи – начальника связи войсковой части 95385 капитана Дубины В.Ю., и членов комиссии – помощника начальника отдела войсковой части 95385 капитана Билинко В.Н., командира роты управления войсковой части 95385 капитана Афанасьева Д.Н., составили настоящий акт в том, что результаты диссертационной работы старшего преподавателя кафедры Военной академии связи подполковника Остроумова О.А., а именно:

– метод и методики построения профиля функционирования сложной технической системы;

метод и методики обеспечения функциональной устойчивости сложной технической системы на основе предиктивного контроля процесса ее функционирования;

– метод и методика определения критичности элементов сложной технической системы;

– научно-технические предложения по обеспечению функциональной устойчивости сложной технической системы;

реализованы в процессе построения и функционирования системы связи и системы управления войсковой части 95385, а также при подготовке по связи специалистов различных специальностей, убывающих для выполнения задач в зону СВО.

Председатель комиссии: капитан – В.Дубина

Член комиссии: капитан В.Билинко

капитан Д.Афанасьев

«16» 12 2025 г.

«УТВЕРЖДАЮ»
КОМАНДИР ВОЙСКОВОЙ ЧАСТИ 95385
полковник
А.Карпов
«14» мая 2025 г.

**АКТ**

реализации результатов диссертационной работы
подполковника Остроумова Олега Александровича

Комиссия в составе: председателя – заместителя начальника штаба по связи – начальника связи войсковой части 95385 капитана Дубины В.Ю., и членов комиссии – помощника начальника связи войсковой части 95385 капитана Бидненко В.Л., командира роты управления войсковой части 95385 капитана Афанасьева Д.Н., составила настоящий акт в том, что результаты диссертационной работы старшего преподавателя кафедры Военной академии связи подполковника Остроумова О.А. научно-технические предложения по:

– проектированию и построению сложной технической системы;

– обеспечению устойчивого функционирования сложной технической системы;

– автоматизированному управлению процессом проектирования и функционирования сложной технической системы;

– контролю процесса функционирования сложной технической системы;

реализованы в процессе построения и функционирования системы связи и системы управления войсковой части 95385, а также при подготовке по связи специалистов различных специальностей, убывающих для выполнения задач в зону СВО, по связи.

Председатель комиссии: капитан В.Дубина

Члены комиссии: капитан В.Бидненко

капитан Д.Афанасьев

«14» мая 2025 г.

«УТВЕРЖДАЮ»
КОМАНДИР ВОЙСКОВОЙ ЧАСТИ 01022
майор
«__» _____ 2025 г.

**АКТ**

реализации результатов диссертационной работы
подполковника Остроумова Олега Александровича

Комиссия в составе: председателя – заместителя командира войсковой части 01022 по тылу майора Коршунова Е.Н., и членов комиссии – начальника штаба войсковой части 01022 капитана Фахрисламова А.Р., командира роты связи узла связи командного пункта войсковой части 01022 капитана Туребаева К.К., энергетика технической части войсковой части 01022 лейтенанта Карсакова В.В., составила настоящий акт в том, что результаты диссертационной работы старшего преподавателя кафедры Военной академии связи подполковника Остроумова О.А. научно-технические предложения по:

– проектированию и построению сложной технической системы;

– обеспечению устойчивого функционирования сложной технической системы;

– автоматизированному управлению процессом проектирования и функционирования сложной технической системы;

– контролю процесса функционирования сложной технической системы;

реализованы в процессе построения и функционирования системы связи и системы управления войсковой части 01022, а также при подготовке по связи специалистов различных специальностей, убывающих для выполнения задач в зону СВО, по связи.

Председатель комиссии: майор Е. Коршунов

Члены комиссии: капитан А. Фахрисламов

капитан К. Туребаев

лейтенант В. Карсаков

«__» _____ 2025 г.

«УТВЕРЖДАЮ»
КОМАНДИР ВОЙСКОВОЙ ЧАСТИ 01022
майор
«23» 03 2023 г.

**АКТ**

реализации результатов диссертационной работы
подполковника Остроумова Олега Александровича

Комиссия в составе: председателя – заместителя командира войсковой части 01022 по тылу майора Корнупова Е.П., и членов комиссии – начальника штаба войсковой части 01022 капитана Фахрисламова А.Р., командира роты связи узла связи командного пункта войсковой части 01022 капитана Туребаева К.К., энергетика технической части войсковой части 01022 лейтенанта Кирсанова В.В., составила настоящий акт в том, что результаты диссертационной работы старшего преподавателя кафедры Военной академии связи подполковника Остроумова О.А., а именно:

– метод и методики построения профиля функционирования сложной технической системы;

– метод и методики обеспечения функциональной устойчивости сложной технической системы на основе предиктивного контроля процесса ее функционирования;

– метод и методики определения критичности элементов сложной технической системы;

– научно-технические предложения по обеспечению функциональной устойчивости сложной технической системы;

реализованы в процессе построения и функционирования системы связи и системы управления войсковой части 01022, а также при подготовке по связи специалистов различных специальностей, убывающих для выполнения задач в зону СВО.

Председатель комиссии: майор Е. Корнупов

Члены комиссии: капитан А. Фахрисламов

капитан К. Туребаев

лейтенант В. Кирсанов

«23» марта 2023 г.