

На правах рукописи



ОСТРОУМОВ Олег Александрович

**МЕТОДЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ УСТОЙЧИВОСТИ
ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩЕЙ СИСТЕМЫ
АЭРОГЕОФИЗИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ**

**Специальность 2.2.11
Информационно-измерительные и управляющие системы**

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т
диссертации на соискание ученой степени
доктора технических наук

Санкт-Петербург 2026

Работа выполнена в федеральном государственном казенном военном образовательном учреждении высшего образования «Военная орденов Жукова и Ленина Краснознаменная академия связи имени Маршала Советского Союза С. М. Будённого» на 32 кафедре (безопасности инфокоммуникационных систем специального назначения)

Научный консультант:

ЛЕПЕШКИН Олег Михайлович

доктор технических наук, доцент
ФГБОУ ВО «Российский государственный гидрометеорологический университет», профессор кафедры информационных технологий и систем безопасности (г. Санкт-Петербург)

Официальные оппоненты:

КРАВЕЦ Олег Яковлевич

доктор технических наук, профессор
ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», профессор кафедры автоматизированных и вычислительных систем (г. Воронеж)

РЫТОВ Михаил Юрьевич

доктор технических наук, профессор
ФГБОУ ВО «Брянский государственный технический университет», заведующий кафедрой Систем информационной безопасности (г. Брянск)

ЧИКРИН Дмитрий Евгеньевич

доктор технических наук, доцент
ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», директор института искусственного интеллекта, робототехники и системной инженерии (г. Казань)

Ведущая организация:

ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина)» (г. Санкт-Петербург)

Защита диссертации состоится «__» февраля 2027 г. в 14:00 на заседании диссертационного совета 99.0.135.02 в БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова по адресу 190005, г. Санкт-Петербург, ул. 1-я Красноармейская, д.1.

С диссертацией и авторефератом можно ознакомиться в библиотеке БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова и на сайте <https://voenmeh.ru/nauka/dissertaczionnye-sovety/dissertaczionnyj-sovet-99-0-135-02/>

Автореферат разослан «__» _____ 202_ года.

Ученый секретарь диссертационного совета
доктор технических наук



Смирнова Мария Сергеевна

I. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность исследования. Современная государственная политика Российской Федерации ведется в сложной внутренней и внешней обстановке. Давление, геополитическая конкуренция, борьба в информационном пространстве, постоянное увеличение количества санкций влияют на экономику страны. Необходимость решения задач импортозамещения, технологического лидерства требует внедрения ресурсосберегающих технологий, информационно-управляющих (ИУС) и измерительных систем, автоматизации процессов, автономных и беспилотных технологий.

Федеральным законом № 187 от 26 июня 2017 года определен перечень объектов критической информационной инфраструктуры (ОКИИ), обеспечение функционирования которых является одной из приоритетных задач государства. К таким объектам относятся, в том числе, информационные системы и автоматизированные системы управления (СУ). В 2024 году запущен проект «Беспилотные авиационные системы», направленный на формирование самостоятельной отрасли экономики, связанной с внедрением и использованием в различных сферах деятельности государства беспилотных летательных аппаратов (БПЛА).

В 2024 году Указом Президента № 529 введен перечень перспективных направлений научно-технического развития России. Одним из его пунктов является «Интеллектуальные транспортные и телекоммуникационные системы, включая автономные транспортные средства». Документом определены критические технологии, к которым отнесены транспортные технологии (беспилотные и робототехнические), мониторинг и прогнозирование состояния окружающей среды и изменения климата.

Проведение масштабных исследований в области экологического мониторинга, поиска полезных ископаемых становится всё чаще связано с использованием БПЛА. Обмен информацией с ними осуществляется в ИУС аэрогеофизического назначения (АН), значение которых с каждым годом растет. Нарушение функционирования ИУС АН может привести к потере БПЛА, неполучению данных разведки и неправильным выводам, что может повлечь экономические, экологические и человеческие потери. Следовательно, возникает необходимость обеспечения функциональной устойчивости (ФУ) таких систем.

Анализ особенностей функционирования технических систем (ТС), свойств их элементов показал, что на ФУ влияет наличие и состояние их ресурсов, процессы, выполняемые в них, а также физические и функциональные связи между их элементами.

Наряду с выше сказанным происходит развитие технических систем, внедрение новых элементов, совершенствование их структуры, что приводит к усложнению систем, увеличению количества информации, используемой и обрабатываемой в них, а также к появлению новых возможностей для решения существующих задач. Появляются новые связи как внутри системы, так и вне ее. Всё это, а также

потребности лиц, принимающих решение (ЛПР), в требуемом функционале системы, определяют критичность самой системы и ее элементов. Кроме того, усложнение и увеличение количества ИУС, необходимость обработки больших объемов данных, а также своевременного получения информации требуют проектирования и построения единой ИУС АН, включающей все ИУС АН, используемые для проведения комплексных геофизических исследований.

Таким образом, возникает необходимость в обеспечении условий существования функциональных связей между ресурсами и элементами системы, стабилизации и устойчивости их построения и функционирования. Множественность элементов системы, в том числе функциональных, и связей между ними создает проблемы для ее формализации. Наряду с этим в условиях изменяющейся обстановки, ограниченности ресурсного обеспечения процесса функционирования ИУС, разнесенности их в пространстве и времени и других факторов возникают ситуации нарушения, разрушения функциональных связей систем и их неспособности выполнить требуемый набор функций и задач. Такая ситуация в масштабе страны, региона, населенного пункта может привести к тяжелым последствиям.

Совокупность факторов, характеризующих изменение обстановки, в которой функционируют ИУС АН, особенности современной политики, внутренней и внешней для РФ ситуация в мире, наличие критичности систем и отдельных их элементов, а также необходимость реагирования на происходящие события в режиме реального времени определяют актуальность проводимого исследования, а его **целью является повышение функциональной устойчивости ИУС АН при проведении комплексных аэрогеофизических исследований.**

Для достижения поставленной цели в работе сформулированы следующие частные задачи исследования:

- проанализировать состояние и развитие автоматизации ИУС АН;
- разработать теоретические основы функциональной устойчивости ИУС АН;
- разработать концепцию обеспечения функциональной устойчивости ИУС АН;
- разработать модель формализации ИУС АН;
- разработать модель формализации процесса функционирования ИУС АН;
- разработать метод оценки критичности элементов ИУС АН в условиях эксплуатации;
- разработать методы обеспечения функциональной устойчивости ИУС АН;
- разработать научно-технические предложения по построению ИУС АН с обеспечением ее функциональной устойчивости.

Постановка задачи на исследование. Цель исследования достигается разработкой концепции обеспечения ФУ ИУС АН, комплекса методов и методик формализации ИУС АН, предиктивного контроля ее состояния, оценки критичности ее и ее элементов, а также обеспечения функциональной устойчивости системы.

Цель определяется рядом противоречий:

- между временем реакции существующих систем управления на возникающие конфликты в ИУС и потребностями ЛПР;

- между динамикой изменения состояния системы, условий в которых она функционирует и возможностями ИУС АН по реализации потребностей ЛПР;
- между требованиями по обеспечению устойчивого функционирования критических объектов инфраструктуры и отсутствием требований к критичности элементов ИУС;
- между возможностями существующего научно-методического аппарата обеспечения процесса функционирования и оценки ФУ ИУС и сложностью ИУС;
- между возможностями существующего научно-методического аппарата формализации сложных технических объектов и потенциально высокой оснащённостью их систем управления, контроля, мониторинга, информационных систем, ИУС при динамично меняющейся обстановке.

Выявленные противоречия отражают методологический, методический и организационно-технический аспекты процесса обеспечения ФУ ИУС АН.

Для разрешения данных противоречий сформулирована и решена следующая **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.

В рамках решения научной проблемы разработаны концепция обеспечения ФУ ИУС АН, а также взаимосвязанные с ней модели, методы, методики и технологии, использующиеся для обеспечения ФУ ИУС АН, на основе предиктивного контроля состояния системы и ее элементов.

Методологические основы решения проблемы. Обеспечение ФУ ИУС невозможно без устойчивого управления системой. В процессе управления необходима обратная связь по результатам предиктивного контроля процесса функционирования системы. Формирование цикла управления предлагается осуществлять на основе процессного подхода, включающего планирование, действие, контроль и исправление.

Управление функционированием ИУС АН предполагает использование численных методов только при условии наличия информации о состоянии системы в любой момент времени. Однако ее формализация вызывает затруднение, что обусловлено размерностью системы, множеством и разнообразием решаемых ею задач. Предлагается представить условия существования процесса функционирования ИУС АН в интегральной форме функцией как правило (отображение множества действий ЛПР по управлению ИУС АН на числовом множестве). Всё это потребовало формализации ИУС АН на основе взаимовложенных элементов ее профиля функционирования, нормирования множества ее элементов

и согласования профиля с процессом функционирования ИУС АН. Использование такого подхода позволило разработать концепцию, методы и технологии обеспечения функциональной устойчивости ИУС АН.

Полученные результаты могут быть использованы ЛПР, системами управления, контроля и мониторинга ИУС АН, имеющих критическое значение, и будут предназначены для выработки комплекса мероприятий обеспечения устойчивого функционирования ИУС АН за короткое время и в условиях реального времени в виде плана функционирования системы.

Процесс разработки такого плана и его согласование системой управления (ЛПР) условно делятся на три этапа: определение потребностей ЛПР и СУ в меняющихся условиях; оценка системы и ее возможностей по удовлетворению этих потребностей, формирование плана функционирования системы и его согласование, формирование требований к системе; реализация плана через СУ.

Методы исследования. 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.

Объект исследования – информационно-управляющая система аэрогеофизического назначения.

Предмет исследования – научно-методическое обеспечение функциональной устойчивости информационно-управляющая система аэрогеофизического назначения.

Научная новизна заключается в формализации ИУС в виде профиля функционирования ИУС АН (плана) и профиля процесса функционирования ИУС АН (динамики выполнения плана), установлении аналитической и математической связи между ними, которая в отличие от известных позволяет описать процесс функционирования ИУС как функцию ее состояния на основе результатов предиктивного контроля и обеспечить функциональную устойчивость ИУС, характеризующую выполнение ею целевого предназначения.

Научная новизна проявляется в:

- новой формализации процесса функционирования ИУС, заключающейся в построении профиля процесса функционирования системы на основе ее целевого предназначения;
- новой математической формализации целевого предназначения ИУС на основе функционального синтеза;
- новом подходе к прогнозированию состояния ИУС и ее элементов на основе профиля функционирования системы;
- новой оценке критичности ИУС и ее элементов с использованием профиля функционирования системы;
- оригинальном подходе к обеспечению ФУ ИУС на основе выявления и прогнозирования возникновения конфликтов в системе;

- создании модели, методики выявления конфликтов в процессе контроля состояния ИУС и методов их разрешения.

Научная новизна подтверждается:

- разработкой новой концепции обеспечения ФУ ИУС АН;
- разработкой нового метода определения статической и динамической критичности ИУС и ее элементов на основе профиля функционирования системы;
- разработкой новых оригинальных аналитических и математических методов формализации ИУС АН в виде профиля ее функционирования и профиля процесса ее функционирования;
- разработкой нового метода обеспечения ФУ 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 обоснована решением сформулированной проблемы с использованием разработанной концепции обеспечения ФУ ИУС АН на основе результатов предиктивного контроля процесса ее функционирования.

Теоретическая значимость заключается в развитии и совершенствовании теоретических положений, описывающих процессы обеспечения функциональной устойчивости ИУС АН и оценку критичности системы и ее элементов.

Практическая значимость определяется возможностями концепции обеспечения ФУ ИУС АН и заключается в том, что разработанные методы, модели и методики обеспечения ФУ ИУС на основе результатов предиктивного контроля процесса ее функционирования позволяют: выработать предложения по обеспечению ФУ ИУС за счет реализации обратной связи в процессе ее функционирования; выявлять и прогнозировать возникновение конфликтов в ИУС АН, формировать сценарии действия системы управления и ЛПР при возникновении конфликтов и изменении показателей процесса функционирования системы в изменяющихся условиях; формировать исходные данные для ЛПР при выработке замысла построения профиля функционирования ИУС и порядка принятия решения; разрабатывать исходные данные для системы поддержки принятия решения на основе результатов предиктивного контроля процесса функционирования ИУС АН, а также выявления критичности ИУС и ее элементов; повышать оперативность реакции ИУС на возникающие в ней конфликты, изменение критичности системы и ее элементов; повышать качество принимаемых решений по оперативному, организационно-техническому и технологическому управлению системой и проводимыми комплексными геофизическими исследованиями.

Основные положения, 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.

Реализация. Полученные теоретические и практические результаты использованы в 27 ЦНИИ МО РФ – при проведении научно-исследовательских работ 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 АО «Защищенные системы» – при разработке сложных защищенных ИУС.

Апробация. Результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на Всероссийской межведомственной НТК по теоретическим и прикладным проблемам развития и совершенствования АСУ и связи специального назначения «Наука и АСУ-2020» (Москва, Зеленоград, 2020), III Всероссийской НТК Состояние и перспективы развития современной науки по направлению «Информационная безопасность» (Анапа, 2021), X, XI, XII межвузовских НПК Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании (АПИНО) (Санкт-Петербург, 2021–2023), VI межвузовской НПК «Проблемы технического обеспечения войск в современных условиях» (Санкт-Петербург, 2021), X, XI, XII Международных НТ и НМК (Санкт-Петербург, 2021–2023), XXIV, XXV, XXVI Всероссийских НПК РАРАН «Актуальные проблемы защиты и безопасности» (Москва, 2021 – 2023), III Всероссийской научной конференции «FISP-2021: Фундаментальные проблемы информационной безопасности в условиях цифровой трансформации» (Ставрополь, 2021), XXIX, XXX Международных НПК «Проблемы управления безопасностью сложных систем (ПУБСС)» (Москва, 2021, 2022), XII, XIII Санкт-Петербургских межрегиональных конференциях «Информационная безопасность регионов России (ИБРР)» (Санкт-Петербург, 2022, 2023), НПК «Технологии. Инновации. Связь» (Санкт-Петербург, 2022), XI Международной НПК студентов и аспирантов «Казанские научные чтения студентов и аспирантов имени В. Г. Тимирязова» (Казань, 2022), НПК «Современные тенденции инженерного образования» (Санкт-Петербург, 2022), Всеармейской НПК «Инновационная деятельность в ВС РФ» (Санкт-Петербург, 2022, 2023), XVI Международной конференции «Управление развитием крупномасштабных систем (MLSD 2023)» (Москва, 2023), XXVII, XXVIII, XXIX, XXX Международных НТК «Радиолокация, навигация и связь» (Воронеж, 2021–2024), XIX Всероссийской научной конференции «Нейрокомпьютеры и их применение» (Москва, 2021–2024).

Публикации. По результатам исследования опубликован 41 научный труд, из которых 4 монографии, 22 статьи в журналах и научно-технических сборниках

(22 статьи – в научных журналах и изданиях, рекомендованных ВАК РФ для опубликования основных результатов диссертаций на соискание ученой степени доктора наук), 66 публикаций в сборниках материалов международных, всероссийских научно-технических конференций, 7 патентов на изобретения, 3 базы данных, 15 программ для ЭВМ, 1 ОКР и 3 НИР.

Структура и объем диссертации. Работа состоит из введения, семи глав, заключения, списка литературы. Изложена на 522 страницах машинописного текста, содержит 81 рисунок, 53 таблицы и 498 наименований источников, а также приложение.

II. КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** обоснованы актуальность и цель работы, проведен анализ основных противоречий в теории и практике, сформулирована проблема исследования, представлены постановка задачи на исследование и обзор работ предметной области, характеризующих теорию и практику обеспечения функциональной устойчивости ИУС АН как ОКНИ.

В **первой главе «Назначение и особенности развития ИУС АН. Нормативное обеспечение устойчивого функционирования объектов КНИ»** проведен анализ использования ИУС АН, особенностей выбора авиационных платформ для геофизических исследований, обоснована необходимость отнесения крупных ИУС АН к объектам КНИ и обеспечения их функциональной устойчивости и непрерывности функционирования. Проведен анализ нормативной базы обеспечения безопасного и устойчивого функционирования объектов КНИ; требований, которые предъявляются к современным объектам КНИ, сложным техническим системам (СТС); развития и использования процессного подхода в управлении системами, их ресурсного обеспечения; введено понятие критичности процесса функционирования ИУС АН.

Развитие современных ТС, использование роботизированных автономных и беспилотных устройств позволило получить доступ в места, проведение исследований в которых было затруднено. Это, с одной стороны, повысило эффективность и возможность таких систем, а с другой – ужесточило требования к ним. Основным требованием ЛПР является способность ТС выполнять необходимый перечень задач и функций, что определяет их функциональную устойчивость и критичность. Анализ законодательства РФ показал, что государство уделяет много внимания вопросам обеспечения безопасного и устойчивого функционирования ИУС. Наряду с этим анализ потребности организаций в использовании БПЛА для проведения исследований выявил массовость их применения и необходимость совершенствования ИУС, использующих такие средства.

Вторая глава «Анализ развития и научно-технические аспекты управления функциональной устойчивостью ИУС АН» посвящена исследованию развития систем управления, их автоматизации, особенностей управления ресурсами, дестабилизирующих факторов (ДФ), влияющих на процесс функционирования ИУС. Рассматривается трансформация понятий надежности, живучести,

безопасности, помехоустойчивости, киберустойчивости, автономности и непрерывности функционирования в понятие функциональной устойчивости. Раскрыта актуальность исследования и научной проблемы, предлагаемой к решению.

Проведенный анализ подходов к управлению техническими системами позволил сделать вывод, что требования к процессу функционирования ТС, управлению ими, контролю выполнения возложенных на них функций и задач возрастают. Это определяет необходимость автоматизации процессов управления, внедрения технологий искусственного интеллекта и создания систем поддержки принятия решений. Воздействие на ТС различных ДФ, изменение условий их функционирования могут значительно увеличить время на реакцию системы и время принятия решения ЛПР. Это может привести к невозможности выполнения отдельных элементов процесса функционирования ИУС АН и, следовательно, к разрушению системы.

В сложных распределенных в пространстве системах происходит взаимовлияние функциональных элементов и ресурсов. Определение связей между элементами системы позволит, с одной стороны, выявлять проблемы в ней, а с другой – прогнозировать последствия их проявления для других элементов системы.

Анализ и классификация дестабилизирующих факторов, влияющих на процесс функционирования ИУС как объекта КИИ, показали, что наиболее опасны информационные воздействия. Современные средства контроля в процессе функционирования ИУС недостаточно обеспечивают качество и полноту контроля, поскольку позволяют выявить воздействие только ограниченного числа факторов и не оценивают процесс функционирования. Это приводит к получению ЛПР неполных данных о состоянии системы. Возникает необходимость согласования процесса функционирования ИУС в изменяющейся обстановке. Решение проблемы возможно при реализации автоматической обратной связи в управлении системой и формировании связей между элементами процесса функционирования ИУС АН.

Реализация обратной связи в процессе функционирования ИУС на основе процессного подхода и закона сохранения целостности системы определила необходимость решения данной проблемы в рамках концепции обеспечения функциональной устойчивости ИУС, позволяющей своевременно реагировать на изменение текущей обстановки и состояние системы в режиме реального времени.

Применение алгебраической операции, связанной со свойствами несущих множеств, определяющей требования процессного подхода к функционированию ИУС и закона сохранения целостности системы, позволило сформировать элементы концепции обеспечения ФУ ИУС АН, в соответствии с которыми проведены постановка и декомпозиция проблемы исследования.

Третья глава «Концепция обеспечения функциональной устойчивости информационно-управляющей системы аэрогеофизического назначения» посвящена разработке концепции обеспечения функциональной устойчивости ИУС АН, включающей: системообразующие основы моделирования; синтез структуры системы, процесса ее функционирования и способов применения;

систему понятий и определений, используемых в работе; концептуальную и структурно-функциональную модели ИУС АН.

Основу концепции составляют процессный подход и закон сохранения целостности системы, которые заключаются в выделении системы как объекта исследования, действий над объектом, включающих управляющие воздействия на ИУС по ее построению и реконфигурации, и предназначения системы, связывающего объект и действие и представленного целевой функцией системы (планом функционирования). Формирование такой связи позволяет получить условие существования функционально устойчивой ИУС, процесса ее функционирования, что дает принципиальную возможность реализации процесса управления ИУС АН через обратную связь на основе результатов предиктивного контроля ее состояния.

Описание процесса функционирования системы представлено через закон сохранения целостности объекта в интегральной форме, что позволило показать устойчивую связь между системой и действиями над ней при неизменном сохранении ее целевого предназначения.

Для закона сохранения целостности системы определена связь между тремя основными элементами в интегральной форме

$$\int_Q P(u(r, t), v(r, t), r) dr = I(Q), \quad (1)$$

где $u(r, t)$, $v(r, t)$ – векторы функциональной и структурной характеристик системы соответственно; Q – план функционирования ИУС, обеспечивающий выполнение целевого предназначения (профиль функционирования системы); $I(Q)$ – эффективность функционирования системы, степень достижения целевого предназначения (соответствия профиля процесса функционирования профилю функционирования системы).

В любой момент времени t , где $t \in T$ (T – длительность рассматриваемого процесса функционирования системы), систему можно охарактеризовать n -м вектором состояния x , элементами которого являются ее характеристики. Пространственно-временное состояние системы можно описать парой элементов $r = (x, t)$, где $r \in R$, $R = X \times T$ (R – множество возможных пространственно-временных состояний системы, характеризуемое ресурсом системы). Для обеспечения выполнения требуемого плана необходимо, чтобы $r \in Q$ (Q – множество требуемых для достижения целевого предназначения системы пространственно-временных состояний ИУС), при этом $Q \subset R$. Множество Q представляет собой модель плана функционирования системы; множество R определяет возможности системы по выполнению плана. Модель плана отражает выполнение целевого предназначения ИУС АН.

Выражение (1) описывает процесс обеспечения функциональной устойчивости и выполнения целевого предназначения системы и является условием ее существования. В изменяющейся обстановке на всем жизненном цикле существования ИУС АН положение ее элементов может меняться, что требует

рассмотрения ее функционирования как функции состояния и времени. Известные методы и модели для описания процесса функционирования системы оперируют функцией времени, что для систем, изменение состояния которых должно отслеживаться в режиме реального времени, неприемлемо, что не позволяет в полной мере оценивать состояние ИУС АН. Для описания целевого предназначения системы предлагается использовать закон сохранения целостности: целенаправленное действие над объектом представляет собой процесс управления по выполнению заданного сформированного плана, определяемого как модель действия.

Воздействие различных факторов, потребности ЛПР, изменение обстановки приводят к необходимости корректировки плана, модели объекта и воздействия на систему; при любых изменениях должны выполняться требования к целевому предназначению системы. Проведенный анализ предметной области исследования показал, что методы, модели, методики, учитывающие состояние и время для функционирования ИУС АН отсутствуют.

При рассмотрении процесса выполнения плана и его корректировки необходимо учитывать изменение условий приложения управляющих воздействий на систему:

$$\iint_Q \Delta P(u(r,t), v(r,t), r) dr dt = \iint_{\Delta Q} P(u(r,t), v(r,t), r) dr dt, \quad (2)$$

где ΔP – мера изменения производительности (модели системы) при управляющих воздействиях; ΔQ – мера изменения плана (модели действия).

Полученное выражение (2) характеризует производительность, эффективность функционирования системы и выполнение ею целевого предназначения, а также конкретизирует субъектно-объектный подход, предложенный Ю. Г. Ростовцевым, рассматривающим ситуацию как объект системного моделирования. Под ситуацией понимается состояние системы и ее элементов в данный момент времени. Ситуация есть элемент множества $Q \times F$, т. е. пара $(\varphi(r), r)$, $\varphi(r) \in F$ (F – есть множество требуемых значений выполнимости целевого предназначения (ВЦП)); $r \in Q$.

Элементами ситуации выступают пространственно-временное состояние системы (ПВС) и ее ВЦП. Такой подход позволяет объединить ПВС ИУС и ее возможности в единое целое, направленное на достижение целевого предназначения, а также осуществлять синтез и построение системы с заранее заданными свойствами (рис. 1).

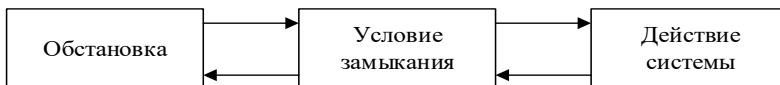


Рисунок 1 – Структура функционирования ИУС АН

В основе теории синтеза лежит *логико-алгебраическая концепция математики*, которая позволила получить непротиворечивые выводы. При таком подходе Ω -структуры обычно строятся на одном базисном множестве, что создает существенные трудности при решении задач моделирования с использованием этих структур. Ω -структурой называется такой объект $U_R = [R, \Omega]$, который состоит из непустого множества R и множества $\Omega = \Omega_f \cup \Omega_p$, где Ω_f – множество алгебраических операций; Ω_p – множество предикатов, определенных на множестве R -носителей Ω -структуры. Устранить эти трудности позволяет разработанная математическая структура Ω_Q , которая на основе новой аксиоматики, включающей язык (базовые понятия, ключевые слова и отношения между ними), утверждения (об уравнении синтеза, взаимодействии, конфликте, критичности) и теорему (полноты структурно-функциональной модели системы), позволяет строго математически определять систему и учитывать ее конструкцию, применение и целевое предназначение (эффективность функционирования системы (ЭФС)).

В центре внимания современной абстрактной алгебры находятся объекты новой природы, в которых алгебраические операции определенным образом связаны со свойствами несущего множества. Алгебраическая операция – то отображение, сопоставляющее со всяким упорядоченным набором n элементов данного множества определенный элемент этого же множества ($f(r): Q \rightarrow R$, функциональная зависимость f обеспечивает формирование элементов $r \in R$, удовлетворяющих уравнению синтеза облика и способов применения системы, т. е. формированию множества требуемых значений ВЦП (ЭФС) $Q \subset R$). Физическая сущность данного явления заключается в выборе по определенному алгоритму элементов множества R , которые обладают свойствами создаваемой целевой системы и использование которых позволяет выполнить ее целевое предназначение. Тем самым формируются элементы множества требуемых состояний системы $Q \subset R$.

Для обеспечения ФУ ИУС АН разработана аксиоматика условий ее синтеза, показывающая, что процесс ее функционирования и управления ею необходимо рассматривать на множестве элементов, распределенных в пространстве и времени, которые имеют два противоположных по смыслу состояния.

Вопросами описания системы с двумя противоположными состояниями занимается математическая логика, однако ее аппарат не связан со временем, и его возможности снижены из-за концептуальной неполноты (описывает состояние системы без динамики) и не удовлетворяют требованиям аксиомы, определяющей, что ИУС функционирует на множестве распределенных в пространстве и времени элементов, которые имеют два противоположных состояния. По этой причине реализация класса функций, отображающих множество высказываний на числовое множество оказалась серьезной научно-практической проблемой, то потребовало разработки нового научного подхода, позволяющего исключить элемент использования вербальных моделей для формирования и осуществления

обратной связи. Существует проблема описания функции (производительности) на множестве логических переменных через функцию как правило.

Новизна первого научно-положения заключается в том, что в отличие от известных подходов разработанная концепция характеризует научно-методический аппарат решения проблемы обеспечения ФУ процесса функционирования ИУС как объекта критической информационной инфраструктуры, а также выполнения синтеза в условиях выявления конфликтов для гарантированного достижения целевого предназначения системы.

На основе предложенной концепции разработана структурно-функциональная модель ИУС АН.

Проведенный анализ ИУС на основе системного подхода показал, что большинство таких систем имеют иерархическую структуру построения с функциональным набором целей, требований, функций, задач, регламентов, выполнение которых осуществляется за счет имеющихся ресурсов системы, разнесенных в пространстве и времени.

В процессе функционирования системы задействование ресурсов требует согласования ЛПР их использования на разных этапах выполнения регламента, что приводит к значительному увеличению времени выполнения цикла управления, принятия решения, появлению нештатных ситуаций и может вызвать саморазрушение системы. Достижение цели определяет необходимость минимизации времени согласования использования ресурсов ИУС АН с ЛПР.

Основу модели составляет иерархическая древовидная структура функционирования ИУС АН, содержащая цели системы A_1 и требования T_{1ci} , предъявляемые к ним, функции системы F_1 и требования T_{1fi} , предъявляемые к ним, задачи системы Z_1 и требования T_{1zi} , предъявляемые к ним, а также ресурсы системы E_1 , позволяющие обеспечить процесс функционирования системы, и требования T_{1pi} , предъявляемые к ним.

Процесс функционирования системы можно представить в виде

$$\Phi_{A \text{ сист}} = \{A_1, A_2, \dots, A_d\} \rightarrow \max,$$

$$\Phi_{E \text{ сист}} = \{E_1, E_2, \dots, E_m\} \rightarrow \min,$$

где $A_d = \{A_d, T_{dci}\}$, $A_d = \{F_1, F_2, \dots, F_c\}$, $F_c = \{Z_1, Z_2, \dots, Z_d\}$, $Z_d = \{E_1, E_2, \dots, E_m\}$, $F_c = \{F_c, T_{cfi}\}$, $Z_d = \{Z_d, T_{dzi}\}$, $E_m = \{E_m, T_{mpi}\}$.

Для обеспечения устойчивого функционирования системы должны быть выполнены следующие условия:

1. $A_d \geq A_{d \text{ треб}}$, $F_c \geq F_{c \text{ треб}}$, $Z_d \geq Z_{d \text{ треб}}$, $E_m \geq E_{m \text{ треб}}$ — определяет способность выполнения элементов уровня за счет элементов нижнего уровня.

2. Для управляющих действий $\Phi_{\text{упр сист}} \leq \Phi_{\text{упр сист}}(R)$.

Достижение целевого предназначения ИУС будет характеризоваться выполнением связанных между собой регламентов

$$\text{цель} = \sum \text{регламентов.}$$

Пространство элементов каждого уровня иерархически описанного процесса функционирования системы определяет выполнение элементов вышестоящего уровня. Достижение целевого предназначения системы определяется множеством

целей. Среди элементов каждого множества выделяется начальное и конечное состояние, характеризующие начало и окончание выполнения регламента – целевого предназначения ИУС. Таким образом, функция выполнения регламента может быть представлена в виде

$$F_{\text{вып рег}}(A) = \sum_{i=1}^a F_{\text{вып рег}}(A_i),$$

где $F_{\text{вып рег}}(A_i) = f\left(\sum_{i=1}^c F_i, \sum_{i=1}^d Z_i, \sum_{i=1}^m E_i, \sum_{i=1}^n T_i\right).$

При определении регламента функционирования ИУС необходимо поставить в соответствие целевому предназначению системы целевую функцию выполнения регламента $W(A_a)_{\text{треб}} \rightarrow W(A_a) \rightarrow A_a$, определить процедуру перехода системы из первоначального или текущего состояния в требуемое.

В работе доказано условие полноты структурно-функциональной модели ИУС АН.

Сформированная на основе синтеза структурно-функциональная модель ИУС АН позволяет описывать систему и используется для обеспечения ее ФУ, обусловленной выполнением целевого предназначения через определенный набор функций и задач, при воздействии ДФ на ИУС АН и ее элементы.

Для доказательства теоремы обозначим набор задач Z и функций F для каждого элемента системы, использование ресурсов которой позволит его выполнить и представим функцией φ , которая сопоставляет с каждым элементом (вершиной графа) v_i из множества V наборы ресурсов, которые предоставляет этот элемент, наборы задач и функций, которые способен выполнить (участвует в выполнении): $\varphi 1: V \rightarrow M, \varphi 2: V \rightarrow Z, \varphi 3: V \rightarrow F$.

Обозначим функцию, которая ставит в соответствие каждой линии связи между элементами системы (дуге графа) непустое множество параметров дуг: $\gamma: E \rightarrow \Omega$. В тереме доказаны следующие утверждения:

- матрица смежности характеризует наличие связи между узлами $S: s_{ij} = 1$ if $\exists e_k = (v_i, v_j), e_k \in E, s_{ij} = 0$ otherwise (здесь if представляет собой условный оператор, а otherwise означает «в противном случае»);
- матрица ресурсов узлов $VM: vf_{ij} = 1$ if $f_j \in \varphi 3(v_i)$, otherwise $vf_{ij} = 0$;
- матрица задач узлов $VZ: vf_{ij} = 1$ if $f_j \in \varphi 2(v_i)$, otherwise $vf_{ij} = 0$;
- матрица функций узлов $VF: vf_{ij} = 1$ if $f_j \in \varphi 1(v_i)$, otherwise $vf_{ij} = 0$;
- матрица характеристик для дуг $E\Omega: e\omega_{ij} = 1$ if $\omega_j \in \gamma(e_i)$, otherwise $e\omega_{ij} = 0$.

Концептуальная модель процесса функционирования ИУС описывает функционирование системы. Однако целостную картину описания возможностей системы по реализации ее целевого предназначения, а также условий ее синтеза при изменяющейся обстановке позволила получить структурно-функциональная модель ИУС АН.

Разработанная модель системы характеризуется выражением, показывающим, что существует такой набор элементов $r(t)$, структур $v(t)$ и функциональных характеристик (множество функций, задач и целей) $u(t)$ при воздействии любых ДФ $d(t)$, для которых выполняется функция $f(u(t), v(t), r(t))$, описывающая построение системы, характеризуемой ее функциональными возможностями $I(Q_\Phi)$:

$$\exists r(t), \exists v(t), \exists u(t), \forall d(t): f(u(t), v(t), r(t)) \rightarrow I(Q_\Phi).$$

Модель представляет собой совокупность матриц, описывающих структуру и функциональные возможности ИУС и ее элементов. Возможности ИУС по выполнению целевого предназначения определяются коэффициентами выполнимости целей, функций, задач, использования ресурсов, соблюдения требований к системе $K_A = \sum |Y_A|$; $K_F = \sum |Y_F|$; $K_Z = \sum |Y_Z|$; $K_E = \sum |Y_E|$; $K_T = \sum |Y_T|$.

Структурная устойчивость ИУС определяется связностью элементов системы с использованием выражения $p_{i,j} = 1 - \prod_{\forall \mu_{i,j}^{(k)} \in m_{i,j}} (1 - p_{i,j}^{(k)})$, где $p_{i,j}^{(k)} = \prod_{\forall x \in \mu_{i,j}^{(k)}} p_x$, p_x – коэффициент готовности i -го элемента.

Функциональная устойчивость будет определяться вероятностью выполнения задачи в конкретном сценарии

$$p_{Z_{d,E}} = 1 - \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^m \left(\prod_{\forall E \in \mu_{d,E}^{(j)}} (1 - p_{d,E}^{(j)})_i + \prod_{\forall E \in \mu_{d,E}^{(j)}} (1 - p_{d,E}^{(j)})_i (p_{d,E}^{(j)})_j \right),$$

где j – количество ресурсов, находящихся в резерве, которые могут быть задействованы для выполнения d -й задачи при рассмотрении $\mu_{d,E}^{(j)}$ -го сценария использования ресурсов; i – количество ресурсов, необходимое для выполнения d -й задачи при рассмотрении $\mu_{d,E}^{(j)}$ -го сценария задействования ресурсов; где $p_{d,E}$ – вероятность того, что E_m -й ресурс системы может быть использован для выполнения d -й задачи для $\mu_{d,E}^{(j)}$ -го сценария.

Разработанная модель позволяет описывать потенциал ИУС АН по выполнению любого целевого предназначения. Иерархичность построения системы, согласованность использования ресурсов, выполнения функций, задач системы позволяют автоматизировать процесс ее синтеза и управления ею, а также сократить время на принятие решения в изменяющихся условиях.

Новизна второго научного положения заключается в том, что в отличие от известных разработанная модель описывает связи между структурными и функциональными элементами системы, что позволяет говорить о возможности системы выполнить определенный набор задач, а также формировать возможные варианты их выполнения.

В четвертой главе «Подход к описанию процесса функционирования ИУС на основе профиля функционирования системы» представлен подход

к формализации целевого предназначения ИУС и процесса ее функционирования, позволяющий создать инструмент для реализации автоматической обратной связи в процессе управления системой и осуществить синтез системы на основе ее предназначения в изменяющихся условиях.

Профилем функционирования системы (ПФС) называется формализованное представление плана функционирования ИУС. Планом называется функция, описывающая целевое предназначение системы на заданный период времени.

На основе исходных данных о ресурсном обеспечении системы, ее главной цели, требований, предъявляемых к системе, ее элементам и процессу ее функционирования выделяется совокупность задач, функций, требований, целей системы, позволяющих выполнить целевое предназначение ИУС АН.

Структура метода построения профиля функционирования (ПФ) ИУС АН включает четыре этапа (рис. 2).

На первом этапе строится графо-матричная структурно-функциональная модель ИУС, представляющая собой граф, характеризующий структурные и функциональные элементы системы, который описывается матрицами. Результатом построения модели является совокупность взаимосвязанных и взаимовложенных матриц.

На втором этапе на основе модели строятся одиночные профили (ОП) ИУС, описывающие ресурс и задачи системы, для выполнения которых используется только один элемент системы (ресурс). Результатом построения одиночных профилей является совокупность матриц, описывающих задачи и элементы системы. Под ОП функционирования в ИУС понимается характеристика простейшего элемента системы, для выполнения которого требуется только ресурс системы. Одиночный профиль функционирования системы во времени становится регламентом.

Утверждение 1. 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.

Утверждение 2. При неограниченном ресурсе для любой существующей системы возможно построение профиля ее функционирования, позволяющего

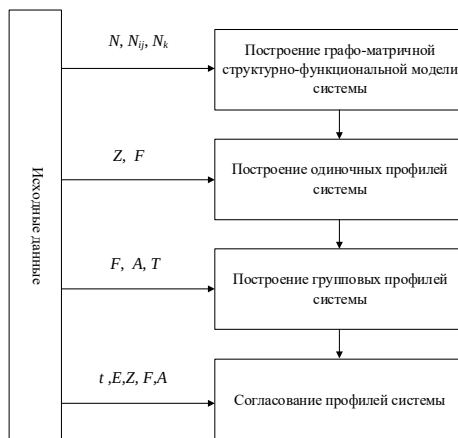


Рисунок 2 – Структура метода формирования профиля ИУС АН

выполнить любое ее целевое предназначение из явно заданного множества допустимых значений.

Методика построения ОП включает следующие этапы: определение требований к ИУС и ее элементам, определение перечня и последовательностей достижения целей, функций, задач, определение для них необходимого количества ресурсов и порядка их задействования, определение перечня ОП, необходимых для выполнения целевого предназначения системы, определение для каждого ОП перечня множества вариантов выполнения, оценка ресурсного обеспечения всех вариантов для каждого ОП, выбор оптимального варианта исполнения ОП.

Полученные в системе ОП функционирования системы определяют нижний уровень ПФС.

На третьем этапе формируются групповые профили (ГП) системы, представляющие собой совокупности ресурсов, ОП и ГП, представленных в виде матриц и характеризующих выполнение системой функций, целей, требований. Формируется шесть типов ГП: состоящий только из ОП; состоящий из ОП и ресурсов системы; состоящий из ОП и ГП; состоящий из ОП, ГП и ресурсов системы; состоящий только из ГП; состоящий из ГП и ресурсов системы.

Утверждение 3. Для любого группового профиля функционирования системы существует как минимум один одиночный профиль функционирования системы и ресурс, которые позволяют сформировать и выполнить ГП.

Методика построения ГП включает следующие этапы: определение требований к ИУС и ее элементам; определение последовательностей достижения целей, функций; определение для них необходимого количества ресурсов для ГП; определение перечня ГП, для выполнения которых необходимы ресурс и ОП или только ОП; определение ГП, для выполнения которых необходимы ресурс, ОП и (или) ГП или только ГП; формирование перечня ГП, необходимых для выполнения целевого предназначения ИУС АН; определение для каждого ГП перечня множества вариантов его выполнения; оценка ресурсного обеспечения всех вариантов для каждого ГП; выбор оптимального варианта исполнения ГП.

Формирование группового профиля описывается матрицами, на основании которых формируется база данных ГП. Полученные в системе групповые профили функционирования системы определяют второй и последующие уровни построения ПФС.

На четвертом этапе осуществляется согласование одиночных и групповых профилей по влиянию друг на друга и времени их выполнения (согласование регламентов). Процесс согласования элементов ПФС является ключевым при его формировании, так как определяет адекватность формализации системы в виде профиля и ее способность выполнить свое целевое предназначение.

Согласование ПФС представляет собой определение степени взаимовлияния элементов профиля: уровень ресурсов, уровень задач – ОП, уровни функций, требований, целей и целевого предназначения – ГП. Согласование элементов профиля осуществляется по горизонтали и вертикали в два этапа: согласование элементов профиля на одном уровне и согласование уровней профиля. Реализация

согласования профиля осуществляется через математический аппарат теории матриц.

Новизна третьего научного положения состоит в том, что в отличие от известных разработанный метод позволяет в рамках заданного целевого предназначения ИУС АН определить связи между функциональными элементами системы, их зависимости и оценить способность системы по выполнению целевого предназначения. ПФ ИУС АН предназначен для использования в системах управления, контроля в качестве контролируемого параметра.

Пятая глава «Метод определения и оценки критичности ИУС АН» посвящена выявлению критически важных элементов ИУС АН и оценке их значимости для системы, а также значимости самой системы. 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.

Структура метода включает четыре этапа (рис. 3).

На первом этапе на основе предназначения объекта КИИ определяется его категория значимости согласно с ФЗ № 187. Результатом категорирования является определение одной из трех категорий значимости для объекта в соответствии с областью его применения.

На втором этапе на основе исходных данных, характеризующих процесс функционирования системы, производится ранжирование элементов системы по предложенным показателям. Ранжирование объектов ИУС проводится с использованием метода анализа иерархий, шкалы Саати и формул Фишберна.

На третьем этапе на основе ПФС определяется статическая значимость (критичность) каждого элемента, входящего в систему. В качестве элементов системы выступают структурная и функциональная характеристики. Исходя из потребностей ЛПР в выполнении ИУС определенного целевого предназначения, формализованного в виде профиля функционирования ИУС АН, определяются значимые для системы функциональные элементы, влияющие на выполнение профиля.

Под критичностью системы (ее элемента) понимается свойство системы (элемента), характеризующее уровень влияния нарушения (прекращения) ее (его) функционирования или невыполнения ею (им) отдельных процессов, задач

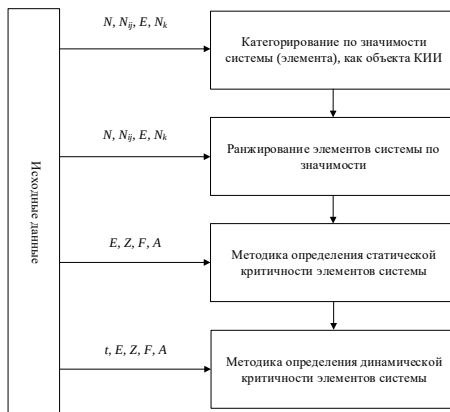


Рисунок 3 – Структура метода оценки критичности ИУС и ее элементов

и функций на функционирование, выполнение предназначения другой системы, объекта, предприятия, ведомства, государства и т. д.

Для определения функциональной критичности процесса для ИУС 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

$$k_{\text{элемент}} = k_{\text{проц}} = \frac{k_a N_a + k_c N_c + k_q N_q}{k_a N_{a\text{max}} + k_c N_{c\text{max}} + k_q N_{q\text{max}}},$$

где k_a , k_c , k_q – коэффициенты, характеризующие выполнение целей, функций, задач системы (выбираются исходя из ранга функционального элемента (1; 0,8; 0,5)) соответственно; N_a , N_c , N_q , – количество целей, функций, задач системы, на выполнение которых оказывает влияние рассматриваемый процесс соответственно; $N_{a\text{max}}$, $N_{c\text{max}}$, $N_{q\text{max}}$ – общее количество целей, функций, задач системы, которые необходимо выполнить для достижения целевого предназначения системы (выполнения профиля функционирования системы) соответственно.

Определение коэффициента статической критичности процесса ИУС осуществляется следующим образом:

$$k_{\text{критпроц}} = k_{\text{проц}} k_{\text{рез}},$$

где $k_{\text{рез}}$ – коэффициент резервного обеспечения процесса, величина которого

$$k_{\text{рез}} = \frac{\sum_{i=1}^m k_i}{m}, \quad k_i = \frac{N_{qE}}{N_{\text{общ}E}} - \text{коэффициент обеспеченности ресурсом задач, } N_{qE} -$$

количество задач в системе (профиле функционирования системы), для выполнения которых требуется ресурс E , $N_{\text{общ}E}$ – общее количество однотипных ресурсов E , которые могут использоваться для выполнения N_{qE} задач системы (профиля функционирования системы).

Для ИУС или ее элемента статическая критичность определяется как среднее арифметическое коэффициентов статической критичности его элементов (ресурсов, находящихся на нем)

$$k_{\text{критэл}} = k_{\text{критобъект}} = \frac{\sum_{i=1}^{N_k} k_i}{N_k},$$

где N_k – количество ресурсов системы, находящихся в ИУС (ее элементе) и используемых для выполнения ее целевого предназначения; k_i – коэффициент статической критичности ресурса системы.

На четвертом этапе на основе ПФС определяется динамическая значимость (критичность) каждого элемента, входящего в систему.

Динамическая критичность определяется во времени при задействовании ресурсов, элементов (объектов) системы и выполнении процессов в профиле функционирования системы:

$$k_{\text{кр дпроц}} = k_{\text{кр добъект}} = \frac{\sum_{i=1}^K t_i}{t_{\text{общ}}},$$

где K – количество отрезков времени выполнения процесса (задействования элемента), t_i – i -й отрезок времени выполнения процесса (задействования элемента), $t_{\text{общ}}$ – время, необходимое на выполнение целевого предназначения (профиля функционирования) системы.

Общий коэффициент критичности элемента, объекта, процесса системы определяется как

$$k_{\text{кр общ}} = k_{\text{кз}} \left(\frac{k_{\text{р ср}} + k_{\text{кр ст}}}{m_{\text{к}}} \right).$$

где $m_{\text{к}}$ – 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 выражением

$$k_{\text{кр общд}} = k_{\text{кр общ}} + k_{\text{кр д}}|t = t_1.$$

С течением времени критичность элементов может меняться, что определяет необходимость принятия мер, направленных на обеспечение гарантированного выполнения ими функций и задач.

Новизна четвертого научного положения состоит в том, что в отличие от известных разработанный метод позволяет выявлять элементы системы, нарушение функционирования которых при воздействии на них ДФ приведет к возникновению конфликтов в системе позволит акцентировать внимание на них в различные отрезки времени.

Шестая глава «Метод обеспечения функциональной устойчивости ИУС АН». Основной задачей системы контроля является установление того, способна ли ИУС выполнить целевое предназначение, удовлетворяет ли требованиям, предъявляемым к ней.

Контроль направлен на выявление в ИУС АН конфликтов профилей (рис. 4). Конфликтом называется состояние системы, когда профиль процесса функционирования системы (ППФС) не соответствует ПФС. Конфликт может быть по ресурсу, задаче, функции, цели и требованию (по элементу ПФС). При контроле происходит заполнение базы данных процессов, происходящих в системе. На основе полученных данных формируется регламент процесса функционирования ИУС. Полученный системой контроля регламент сравнивается с формируемым регламентом функционирования системы, получаемым на основе ПФС.

Анализ выполнения регламентов 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 их выполнение.

При выявлении конфликтов производится оценка ситуации и предоставляется информация в систему поддержки принятия решения (СППР), которая формирует одно или несколько решений по устранению конфликта. Система контроля предоставляет информацию ЛПР о состоянии ИУС, выполняемых ею задачах и обеспеченности ресурсами. ЛПР на основе полученных данных о состоянии системы, конфликтах и информации, полученной от СППР, формируется управляющее воздействие на ИУС и ее элементы для предотвращения или ухода от конфликта.

В процессе контроля выполнения ПФС проверяется принадлежность выполняемой в данный момент времени задачи Z_{qp} регламенту R_p и множеству задач Z_p , а также соответствие временного интервала (t_{np}, t_{kp}) выполнения задачи временному интервалу (t_n, t_k) , заданному в регламенте на данную задачу, и обеспеченность ее ресурсом.

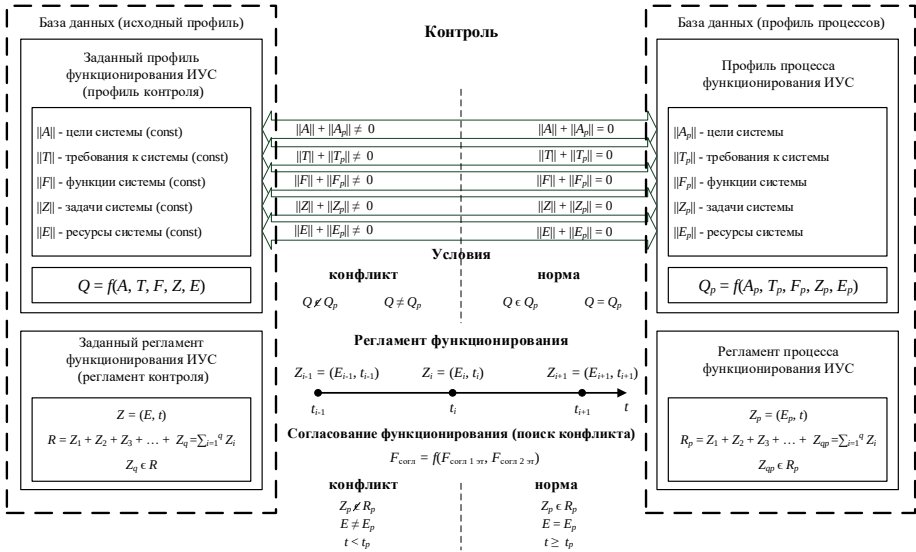


Рисунок 4 – Модель функционирования системы контроля ИУС АН

Возникновение ситуации, когда $Z_{qp} \notin R_p$, свидетельствует о наличии конфликта в системе, обусловленного нарушением порядка выполнения ПФС. 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 и требованиями сроки.

Количественно оценка выполнения регламента производится через коэффициент своевременности. Плановое время выполнения регламентов $t = t_{Z1} + t_{Z2} + \dots$

$+ t_{Zq} \mid Z_q \in R$ сравнивается с фактически затрачиваемым на его выполнение в режиме реального времени $t_p = t_{pz1} + t_{pz2} + \dots + t_{pzqp} \mid Z_{qp} \in R_p$. Коэффициент своевременности имеет вид $K_{св} = t_p / t$.

Основой обеспечения ФУ ИУС является своевременность и правильность обнаружения и устранения конфликтов в системе.

Методика выявления конфликтов включает 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 ПФС (плана), задающего правило функционирования системы;
- контроль выполнения ПФС (плана) путем формирования ППФС, сравнение профилей, выявление конфликтов в системе, обусловленных несоответствием профилей.

Математически в общем виде, возникновение конфликта можно представить как

$$Q \notin Q_p, Q \neq Q_p,$$

в этом случае, ППФС не соответствует ПФС.

Изменение состояния системы и ее профилей во времени определяется регламентами, подразумевающими порядок и сроки выполнения одиночных и групповых профилей. Задержки в выполнении профиля также приводят к конфликту профилей системы. Регламент в профиле ИУС определяется как

$$Q_R = \{Q_0; t\}, Q_R = \{Q_{гр}; t\},$$

тогда возникновение конфликта регламента будет определяться, как

$$Q_R \notin Q_{Rp}, Q_R \neq Q_{Rp}.$$

Обеспечить функциональную устойчивость позволяет реализация обратной связи при реагировании на конфликты в системе и возникновении критичности ее элементов.

Разработана структура формирования условий обеспечения ФУ на основе автоматической обратной связи при выработке и принятии управленческих решений и реализации их в системе (рис. 5).

Для описания функционирования ИУС АН и управления ею необходимо рассматривать систему через пространственно-временные состояния. На основе алгебраической операции, связанной со свойствами несущих множеств, и операции интегрирования разработан подход описания ИУС АН через пространство и время, что позволяет использовать формально-аксиоматический метод для построения дедуктивно-индуктивных выводов и реализовать обратную связь при описании процесса функционирования системы, управленческие решения, направленные на устранение конфликтов и снижение критичности ее элементов.

Структура (см. рис.5) позволила на основе результатов предиктивного контроля процесса функционирования ИУС реализовать условия автоматизированной обратной связи для обеспечения выполнения ФУ и ее целевого пред-

назначения. Использование в системе обратной связи позволило разработать и реализовать условия синтеза ПФС и самой системы по ее переходу из текущего состояния в требуемое (рис. 6).

Процесс функционирования ИУС осуществляется в условиях меняющейся обстановки, воздействия на систему ДФ в соответствии с ПФС за счет ресурсов системы. Изменение обстановки может приводить к необходимости корректировки существующего плана, что предполагает формирование новых условий осуществления синтеза системы. Для этого необходимо сформировать новый план на основе алгебраической операции, связанной со свойствами несущих множеств, позволяющий за счет имеющегося в системе ресурса обеспечить выполнение поставленных функций и задач с требуемой производительностью.

На основе данного подхода разработана методика выявления конфликтов в процессе функционирования ИУС. Обеспечение ФУ ИУС осуществляется реализацией обратной связи и синтеза системы на основе результатов предиктивного контроля выполнения ПФС (плана) и своевременного реагирования на появление конфликтов, обусловленных его невыполнением.

Определение интенсивности синтеза ИУС в разработанной методике выполнено с помощью математической модели, описывающей процесс функционирования системы. На основе результатов оценки вероятностей нарушения функционирования ИУС АН (табл. 1) построены гистограммы (рис. 7).

Таблица 1 – Сводная таблица показателей ФУ ИУС

Номер стратегии	Интенсивность воздействия ДФ	Интенсивность появления конфликтов в ИУС	Интенсивность синтеза ИУС	Вероятность нарушения функционирования $P_{\text{наруш функ}}$ ($t_0 = 80$ с)	Среднее время устойчивого функционирования ИУС $P_{\text{наруш функ}} > 70\%$
C1	1	0	0	0	> 1000
C2	10	1	0	0,319	> 1000
C3	10	1	5	0,182	> 1000
C4	50	5	0	0,868	480
C5	50	5	10	0,619	> 1000
C6	50	10	10	0,835	503
C7	100	1	0	0,329	> 1000
C8	100	10	0	0,983	240
C9	100	10	10	0,842	492
C10	100	10	20	0,84	509
C11	100	10	30	0,838	521

С увеличением интенсивности появления конфликтов в системе вероятность нарушения устойчивого функционирования возрастает, а с увеличением интенсивности синтеза системы она начинает падать.

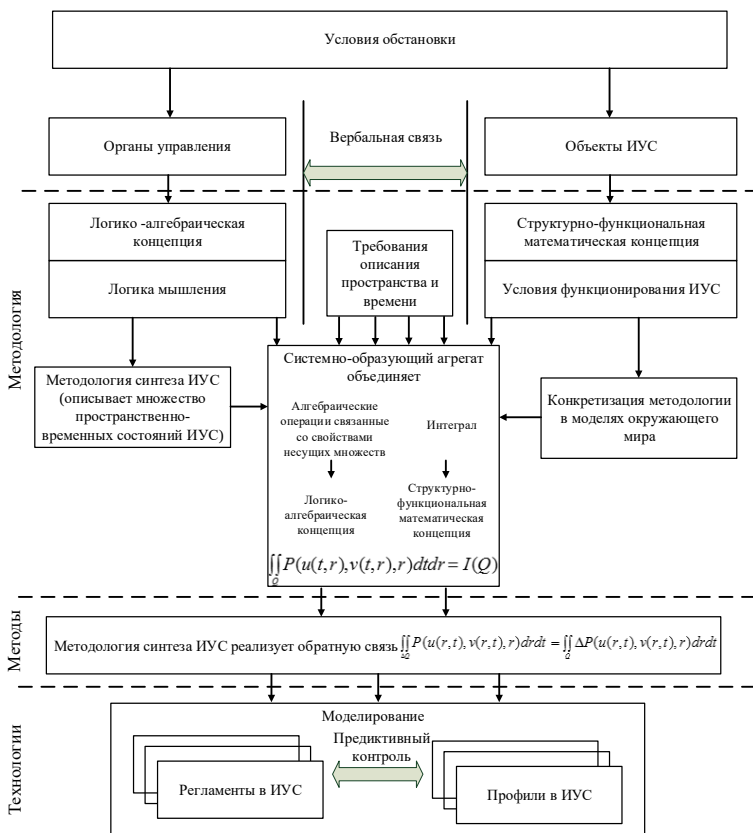


Рисунок 5 – Структура формирования условий обеспечения ФУ ИУС АН

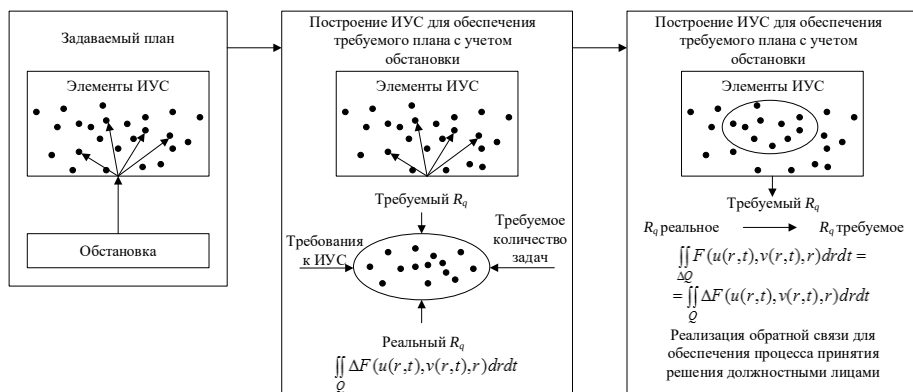


Рисунок 6 – Формирование условий обеспечения ФУ ИУС АН

При равных условиях низкая интенсивность перехода в неработоспособное состояние ИУС позволяет обеспечить более длительное нахождение системы в ФУ состоянии.



Рисунок 7 – Гистограмма зависимости вероятности нарушения устойчивого функционирования ИУС от выбора стратегии

Новизна пятого научного положения состоит в том, что в отличие от известных разработанный метод направлен на контроль процесса функционирования ИУС АН и обеспечение ее функциональной устойчивости на основе результатов предиктивного контроля, позволяющего прогнозировать появление критичности элементов системы, возникновение конфликтов в ней, а также выявлять конфликты в процессе функционирования системы и своевременно на них реагировать.

В седьмой главе «Технологии обеспечения функциональной устойчивости ИУС АН на основе использования профиля функционирования и его предиктивного контроля» представлены технологии, технологические и программные решения обеспечения ФУ ИУС АН и результаты оценки их применения. Обеспечение ФУ основано на выявлении критичности и конфликтов в системе, предотвращении их наступления и своевременной реакции на их возникновение.

Функционально устойчивым состоянием ИУС будет такое состояние $S_{\text{фу}}$, в котором система способна выполнить требуемый набор s_i , характеризующий выполнение задач, функций и целей с требуемым качеством и в установленные сроки:

$$W_{\text{фу}} = \left\{ s_i, w_i \mid \forall i, \forall j : T_1^{(i)} \in T_1^{(\text{треб})}, T_2^{(i)} \in T_2^{(\text{треб})}, \dots, T_L^{(i)} \in T_L^{(\text{треб})} \mid t = t_{\text{ф}} \right\}$$

где w_i – множество, характеризующее качество выполнения элементов ПФС в i -м состоянии; L – количество показателей требований.

Любое состояние системы s_i является устойчивым тогда, когда при воздействии на нее ДФ состояние w_i остается неизменным, что можно записать как

$$s_{i\text{фу}} = \left\{ \forall i \mid s_i \times d_i \rightarrow w_i \mid t = t_{\text{ф}}, w_i \in S_{\text{фу}} \right\},$$

где d_i – элемент множества дестабилизирующих воздействий $D = \{d_1, d_2, d_3, \dots, d_i\}$.

Нахождение или переход ИУС в состояние ФУ определяются следующими условиями:

- 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.

Математически это можно записать в виде

$$S_{\text{ФУ}} = \begin{cases} s_1 | s_i \in S_1, w_1 \in S_2, w_1 \cong w_{\text{ФУ}}; \\ s_i \times d_i \rightarrow s_i | s_i \in S_1, d_i \in D, w_i \in S_2, w_i \cong w_{\text{ФУ}}; \\ s_i \times d_i \rightarrow s_{(i+1)} | s_i, s_{(i+1)} \in S_1, d_i \in D, w_{(i+1)} \in S_2, w_{(i+1)} \cong w_{\text{ФУ}}. \end{cases}$$

Для обеспечения гарантированного выполнения системой возложенных на нее задач, функций и целей в любых условиях необходимо функционирование системы в области множества функционально устойчивых состояний $\Delta: S \times D \rightarrow W_{\text{ФУ}}$. Каждое состояние может описываться сценариями управляющих воздействий на ИУС, которые можно представить как $V = \{V_{11}, V_{21}, \dots, V_{N1}, V_{12}, \dots, V_{Ni}\}$, где V_{Ni} – управляющее воздействие для i -го состояния системы; N – количество управляющих воздействий, позволяющих перевести систему состояние в ФУ.

При контроле функционирования ИУС используется много датчиков, приборов и осуществляется обработка больших объемов данных, что требует применения мощных ЭВМ и разработки для них программного обеспечения. На основе работы с базами данных разработан программный комплекс обеспечения устойчивого функционирования ИУС (рис. 8).

Одним из предназначений ЛПР является определение вектора функционирования системы и загрузка данных в систему. Работа взаимодействующих программных средств с базой данных и друг с другом позволяет формировать ПФС, ППФС, выявлять конфликты в системе и критичность ее элементов, формировать сценарии действия ЛПР для устранения конфликтов и снижения критичности системы, а также осуществлять планирование и синтез процесса функционирования системы.

На основе предложенного подхода разработан способ автоматизированного управления процессом проектирования и функционирования сложной технической системы и устройство, его реализующее. Способ и устройство позволяют автоматизировано выполнять действия по формированию структуры ИУС АН, обеспеченной оптимальным количеством ресурса для ее устойчивого функционирования, оценивать ФУ системы в условиях воздействия различных ДФ.

Разработан способ контроля процесса функционирования СТС и система, его реализующая. Способ учитывает функциональные возможности ИУС, последовательность и время выполнения каждой задачи, функции и цели системы, что позволяет оптимизировать количество измерений параметров системы,

задействование измерительных приборов, а также сократить нагрузку на систему контроля.

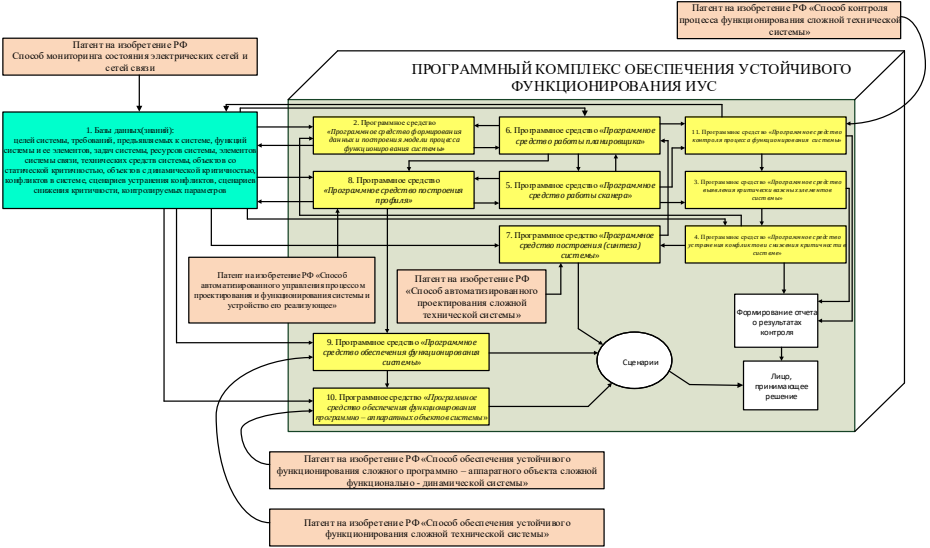


Рисунок 8 – Программный комплекс обеспечения устойчивого функционирования ИУС АН

Реализация предложенного подхода к обеспечению ФУ ИУС АН на основе предиктивного контроля процесса ее функционирования показала, что осуществляется выполнение заданного целевого предназначения, характеризуемого выполнением набора целей, функций и задач системы.

Способность системы выполнить целевое предназначение определяется коэффициентом ФУ. Проведено моделирование процесса функционирования ИУС при выполнении в ней 100 задач (30 критических и 70 обычных). Рассмотрено воздействие ДФ, которое привело к нарушению выполнения задач с последующим восстановлением работоспособности системы, при этом часть задач рассматривалась с динамической критичностью. В условиях предиктивного контроля и оценки критичности функциональных элементов для системы степень ФУ оценивается на уровне 80–90 % (рис. 9).

Количественная оценка выполнения системой требуемого перечня задач показала, что в условиях воздействия дестабилизирующих факторов, приводящих к нарушению выполнения задач системы, своевременное выявление и реакция на такие события позволяют обеспечить выполнение до 80 % не критических задач и до 100 % критических в рамках достижения системой заданного целевого предназначения (рис. 10).

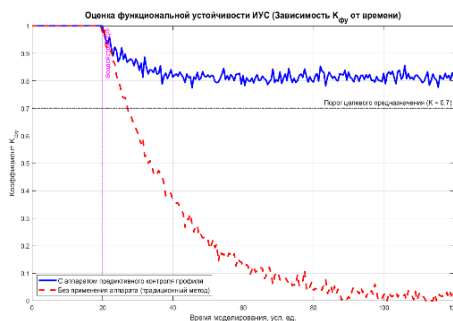


Рисунок 9 – Результаты оценки коэффициента ФУ при моделировании

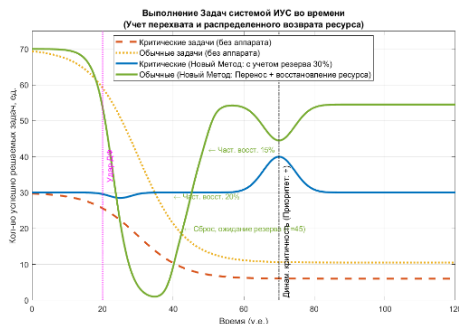


Рисунок 10 – Результаты оценки выполнения ИУС возложенных на нее задач

Реализация разработанного подхода и программного комплекса при построении единой ИУС АН в ходе комплексных аэрогеофизических исследований, включающей центры обработки данных (в том числе базы данных и базы знаний), серверы контроля, мониторинга состояния системы и проводимых исследований, серверы управления и координации взаимодействия ИУС различных организаций в интересах геофизических исследований, позволит координировать проведение исследований, оптимизировать использование ресурсов и осуществлять их перераспределение в условиях реального времени, а также предоставлять информацию ЛПР.

Новизна шестого научного положения состоит в разработке предложений, которые в отличие от известных позволяют в режиме реального времени обеспечивать выполнение системой ее целевого предназначения.

В заключении обобщены полученные результаты, раскрыты их новизна, теоретическая и практическая значимость, оценена степень достижения цели исследования, сформулированы направления дальнейших исследований. Решение научной проблемы позволило повысить функциональную устойчивость и эффективность функционирования ИУС на 13-14%.

III. ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

1. Разработана концепция обеспечения ФУ ИУС АН как объекта КИИ, на основе результатов предиктивного контроля состояния системы в изменяющихся условиях, предназначенная для преодоления противоречий, возникших в теории и практике между возможностями ИУС АН и потребностями ЛПР по гарантированному выполнению целевого предназначения системы. Это стало возможным благодаря предложенному подходу, который на основе закона сохранения целостности системы, использования процессного подхода и в рамках формально-аксиоматического метода на основе алгебраической операции, связанной со свойствами несущих множеств, методов декомпозиции, абстрагирования и агрегирования, осуществляет формализацию системы в виде вложенных иерархически построенных структурных и функциональных разнородных элементов ИУС

АН. Данный подход отличается от известных тем, что обеспечение ФУ системы и выполнение ею целевого предназначения осуществляется на основе результатов предиктивного контроля ее состояния, реализации автоматической обратной связи в процессе управления ею, позволяющей согласовать требования ЛПР к ИУС и осуществлять синтез структурно-функциональной модели системы. Применение математического аппарата теории графов и теории матриц позволяет решить проблему размерности СТС и разнородности ее элементов за счет использования логических элементов в сканере и планировщике.

2. Разработана структурно-функциональная модель ИУС АН, позволяющая оценивать возможности системы по выполнению типовых целей, функций и задач.

3. В соответствии со структурно-функциональной моделью ИУС АН разработан метод построения ПФС и ППФС, позволяющий формализовать целевое предназначение системы в виде совокупности взаимоувязанных структурных и функциональных элементов системы. ПФС выступает в качестве задания системе предиктивного контроля и используется для оценки достижения системой целевого предназначения. Отличительной особенностью такой формализации ИУС АН и ее целевого предназначения является то, что используется функциональная характеристика системы, а ее структурное построение является ресурсной базой выполнения целевого предназначения системы. Формализация сокращает время представления информации системой контроля в систему управления и время ее реакции на изменение обстановки в режиме реального времени.

4. Разработан метод определения и оценки критичности ИУС АН и ее элементов, основанный на анализе ПФС и ППФС, реализации автоматизированной обратной связи в системе, который позволяет в любой момент времени определить категорию значимости ИУС, статическую и динамическую критичность ИУС АН ее элементов.

5. Разработан метод обеспечения ФУ ИУС АН как объекта КИИ, использующий ПФС и ППФС, который базируется на выявлении конфликтов ПФС и ППФС и синтезе структурной и функциональной составляющих ИУС на основе результатов предиктивного контроля выполнения целевого предназначения системы. Отличительной особенностью предложенного метода является то, что он позволяет выявлять нарушения выполнения ПФС, а также прогнозировать невыполнение элементов ПФС исходя из текущего состояния системы и обстановки, что позволило обеспечить до 98% критических задач системы.

Предложенные подходы к устранению конфликтов в системе, снижению критичности ее элементов, формированию сценариев выполнения задач и функций системы, ресурсной оптимизации каждого сценария позволили обеспечить выполнение 90-95% планируемых к выполнению в системы задач, а также оптимизировать процесс ее функционирования. Теоретическая значимость метода определяется его вкладом в дальнейшее развитие теории управления ИУС АН.

6. Предложены технологии реализации разработанных методов, моделей и методик, формализованные в виде способов проектирования, построения и контроля функционирования ИУС АН, что позволило сократить время реакции системы на

возникающие в ИУС АН конфликты процесса ее функционирования на 13-14%. Практическая ценность разработанных технологий состоит в их промышленной применимости на средствах, широко использующихся в автоматизированных системах управления, связи, контроля, информационных системах и других СТС.

Практическая реализуемость полученных теоретических результатов и их практическая значимость подтверждаются реализованными техническими решениями, защищенными патентами на способы, устройство автоматизированного управления процессом проектирования СТС и систему контроля процесса функционирования СТС.

Комплекс полученных результатов представляет собой методологические основы концепции обеспечения функциональной устойчивости информационно-управляющей системы аэрогеофизического назначения. Использование совокупности полученных результатов позволяет обеспечить выполнение системой заданного целевого предназначения в изменяющихся условиях и времени, близком к реальному, что имеет важное народно-хозяйственное и государственное значение. Таким образом, в ходе исследования решена научная проблема по разработке 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.

Дальнейшая реализация результатов работы включает следующие направления:

- использование разработанной концепции, как научно-методологической основы синтеза ИУС АН на всех этапах жизненного цикла системы для обеспечения устойчивого, безопасного и эффективного ее функционирования, выявления, оценки критичности системы и ее элементов и снижения рисков нарушения их функционирования при проведении геофизических исследований.
- широкое внедрение разработанных методов в системы поддержки принятия решения, системы контроля и системы управления при проведении аэрогеофизических исследований.

ОСНОВНЫЕ НАУЧНЫЕ РАБОТЫ, ОПУБЛИКОВАННЫЕ ПО МАТЕРИАЛАМ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи в ведущих рецензируемых научных журналах и изданиях, рекомендованных ВАК:

1. 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. (№ 1449 от 17.02.2026, К1). (2 п.л./1,75 п.л.).

2. 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. (№ 1462 от 17.02.2026, K1). (0,9 п.л./0,75 п.л.).

3. Остроумов, О. А., Лепешкин, О. М., Лебедев, П. В., Синюк, А. Д. Графо-матричная структурно-функциональная модель сложной технической системы // Проблемы машиностроения и автоматизации. 2025. № 4. С. 117-128. (2280 от 17.02.2026, K1). (0,8 п.л./0,56 п.л.).

4. Остроумов, О. А., Кондрашов, Ю. В., Сатдинов, А. И., Синюк, А. Д. Концептуальная модель контроля функций системы связи для выявления конфликтных ситуаций // Т-Сопм: Телекоммуникации и транспорт. 2022. Т. 16. № 5. с. 21-27. (№153 от 17.02.2026, K1). (0,45 п.л./0,3 п.л.).

5. Остроумов, О. А., Лепешкин, О. М., Синюк, А. Д. Систематизация основ методологии синтеза критической информационной инфраструктуры Российской Федерации // Военная мысль. 2021. № 8. с. 109-114. (931 от 17.02.2026, K1). (0,38 п.л./0,3 п.л.).

6. Остроумов, О. А., Лепешкин, О. М., Ковалев, Д. С., Остроумова Е. В. К вопросу о понятии критической информационной инфраструктуры системы управления // I-metods. 2021. № 3. С. 10-15 (№55 от 17.02.2026, K3). (0,38 п.л./0,3 п.л.).

7. Остроумов, О. А. Методика обеспечения функциональной устойчивости системы связи // Вопросы радиоэлектроники. Сер. Техника телевидения. 2022. вып. 1. С. 30-38 (№992 от 17.02.2026, K2). (0,5 п.л.).

8. Остроумов, О. А. Проблема обеспечения функциональной устойчивости систем критически важных объектов // Электросвязь. 2022. № 1. С. 14-18 (№3155, K2). (0,3 п.л.).

9. Остроумов, О. А. Модель контроля функционирования системы связи // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2022. № 3. С. 300-310. (1374 от 17.02.2026, K2). (0,6 п.л.).

10. Остроумов, О. А., Лаута, О. С, Баленко, Е. Г., Федоров, В. Х., Лепешкин, О. М. Метод построения профиля функционирования сложной технической системы // Инженерный вестник Дона. 2023. № 2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2023/8183. (№1406 от 17.02.2026, K2). (1,9 п.л./1,6 п.л.).

11. Остроумов, О. А. Методология обеспечения процесса устойчивого функционирования системы связи – критически важного объекта системы управления // Военная мысль. 2022. № 9. С. 52-58. (931 от 17.02.2026, K1). (0,4 п.л.).

12. 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. (№1406 от 17.02.2026, K2) (1,8 п.л./1,6 п.л.).

13. 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. 2023. № 1. СПб.: ГУАП. С. 93-104. (№ 1474 от 17.02.2026, K2). (0,7 п.л./0,63 п.л.).

14. 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. № 4 С.16-26. DOI:10.14489/vkit.2023.04.pp.016-026. (№528 от 17.02.2026, K2). (0,7 п.л./0,56 п.л.).

15. Остроумов, О. А., Лепешкин, О. М., Вершенник, Е. В., Тесля, С. П. Методика обеспечения устойчивого функционирования СПАО // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2023. № 2. С. 373-380. (1374 от 17.02.2026, К2). (0,5 п.л./0,38 п.л.).

16. 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. (3143 от 17.02.2026, К2). (0,3 п.л./0,25 п.л.).

17. Остроумов, О. А., Бычковский, М. М., Лепешкин, О. М. Базир, Г. И. Методика предиктивного контроля процесса функционирования сложной технической системы // Вестник Донецкого национального университета. Серия Г: Технические науки. 2025. № 3. С. 41-54. (488 от 17.02.2026, К2). (0,9 п.л./0,75 п.л.).

18. Остроумов, О. А., Лепешкин, О. М., Сикарев, И. А. Метод определения критичности элементов сложной технической системы // Проблемы информационной безопасности. Компьютерные системы. 2025. № 4(67). С. 48-58. DOI: 10.48612/jisp/6d8t-megz-2zb1. (2277 от 17.02.2026, К2). (0,7 п.л./0,56 п.л.).

19. Остроумов, О. А., Лепешкин, О. М., Синюк, А. Д. Разработка алгоритмов для автоматизации процесса категорирования объектов КИИ СТС // Радиотехнические и телекоммуникационные системы. 2026. № 1. С. 67-78. (2377 от 17.02.2026, К2). (0,75/0,5 п.л.).

Патенты на изобретение:

20. Остроумов, О. А., Стародубцев, Ю. И., Вершенник, Е. В., и др. Способ мониторинга состояния электрических сетей и сетей связи. Патент на изобретение № 2764656 С1 от 19.01.2022. Заявка № 2021113373 от 12.05.2021.

21. Остроумов, О. А., Стародубцев, Ю. И., Вершенник, Е. В., и др. Способ обеспечения устойчивого функционирования СПАО СФДС. Патент на изобретение № 2787274 С1 от 09.01.2023. Заявка № 2022105983 от 08.02.2022.

22. Остроумов, О. А., Стародубцев, Ю. И., Вершенник, Е. В., и др. Способ обеспечения устойчивого функционирования СТС. Патент на изобретение № 2815224 С1 от 12.03.2024. Заявка № 2022124040 от 12.09.2022.

23. Остроумов, О. А., Стародубцев, Ю. И., Вершенник, Е. В., и др. Способ автоматизированного управления процессом проектирования и функционирования сложной технической системы и устройство, его реализующее. Патент на изобретение № 2833827 С2 от 29.01.2025. Заявка № 2022109481 от 11.04.2022.

24. Остроумов, О. А., Стародубцев, Ю. И., Вершенник, Е. В., и др. Способ контроля процесса функционирования СТС и система его реализующая. Патент на изобретение № 2818495 С2 от 02.05.2024. Заявка № 2022124040 от 13.09.2022.

25. Остроумов, О. А., Черных, И. С., Журавлев, Д. А., Обердферер, В. Н., Грищенко, С. С. Способ защиты информационно-вычислительной сети от несанкционированных воздействий. Патент на изобретение № 2832438 С1 от 24.12.2024. Заявка № 2024109452 от 08.04.2024.

Монографии:

26. Остроумов, О. А. и др. Экологическая и техносферная безопасность. Научно-прикладные задачи и решения: Монография / Остроумов О.А. и коллектив авторов. – Санкт-Петербург: Гуманитарный национальный исследовательский институт НАЦРАЗВИТИЕ. 2024. С. 60-66.

27. Остроумов, О. А. и др. Теория и практика конфликта. Очерки современной конфликтологии: Монография / Остроумов О.А. и коллектив авторов. – Санкт-Петербург: Гуманитарный национальный исследовательский институт НАЦРАЗВИТИЕ. 2024. с. 80-86.

28. Остроумов, О. А. и др. Высокие технологии и инновации. Тенденции и перспективы: Монография / Остроумов О.А. и коллектив авторов. – Санкт-Петербург: Гуманитарный национальный исследовательский институт НАЦРАЗВИТИЕ, 2025. С. 7-15.

29. Остроумов, О. А. и др. Инженерная мысль и технологические инновации: От концепции к реализации: Монография / Остроумов О.А. и коллектив авторов. – Санкт-Петербург: Гуманитарный национальный исследовательский институт НАЦРАЗВИТИЕ. 2026. С. 5-12.

Сборники трудов международных и всероссийских конференций:

30. Ostroumov, O. A., Lepeshkin, O. M., Sinyuk A. D. The communication system functional stability with critical objects // В сборнике: Проблемы управления безопасностью сложных систем. Материалы XXIX международной научно-практической конференции. 2021. С. 80-85.

31. Остроумов, О. А., Синюк, А. Д., Лепешкин, О. М. Метод контроля процесса функционирования системы связи // Всеармейская научно-практическая конференция «Инновационная деятельность в ВС РФ» (13-14 октября 2022 г.). СПб.: ВАС, 2023 С. 322-326.

32. Остроумов, О. А., Тесля С. П., Волостных В. А. Метод обеспечения функционирования сложной технической системы в условиях воздействия дестабилизирующих факторов // Сборник тезисов докладов XXI Всероссийской научной конференции «Нейрокомпьютеры и их применение» (28 марта 2023 года). М.: МГППУ, 2023. С. 32-33.

33. Остроумов, О. А. Контроль профиля функционирования системы связи // В сборнике: Технологии. Инновации. Связь. Сборник материалов научно-практической конференции. 2022. С. 148-152.

Свидетельства об официальной регистрации программ:

34. Программа для определения значимости элементов сложной технической системы. Остроумов, О.А., Лепешкин О.М., Хатыпов Р.Р., и др. Свидетельство о государственной регистрации программы № 2023613342 от 14.02.2023. Заявка № 2023611380 от 27.01.2023.

35. База данных конфликтов, возникающих в процессе функционирования сложной динамической системы, и сценариев их устранения. Остроумов, О.А., Лепешкин О.М., Лепешкин Е.О., и др. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2023620885 от 15.03.2023. Заявка № 2023620194 от 27.01.2023.

36. База исходных данных для построения профиля функционирования сложной динамической системы. Остроумов, О.А., Черных И.С., Лепешкин Е.О., и др. Свидетельство о государственной регистрации программы № 2023620876 от 14.03.2023. Заявка № 2023620183 от 27.01.2023.

37. Программа выявления конфликтов профиля и критичности элементов технической системы. Остроумов О. А. Свидетельство о государственной регистрации программы № 2025612271 от 28.01.2025. Заявка № 2025610453 от 20.01.2025.

38. Программа ввода данных в профиль функционирования сложной технической системы. Остроумов О. А. Свидетельство о государственной регистрации программы № 2025612272 от 28.01.2025. Заявка № 2025610455 от 20.01.2025.

39. Программа отображения и вывода результатов контроля регламентов выполнения профиля процесса функционирования сложной технической системы. Остроумов О. А. Свидетельство о государственной регистрации программы № 2025615337 от 04.03.2025. Заявка № 2025612091 от 06.02.2025.

40. Программа для формирования документов при проведении процедуры категорирования объектов критической информационной инфраструктуры. Остроумов, О.А., Лепешкин, О.М., Хатыпов, Р.Р., и др. Свидетельство о государственной регистрации программы № 2023611511 от 20.01.2023. Заявка № 2022685690 от 20.12.2022.

41. Программа работы сканера по контролю выполнения элементов профиля функционирования сложной технической системы. Остроумов, О.А., Черных, И.С., Лепешкин, Е.О., и др. Свидетельство о государственной регистрации программы № 2025615335 от 04.03.2025, заявка № 2025613099 от 06.02.2025.