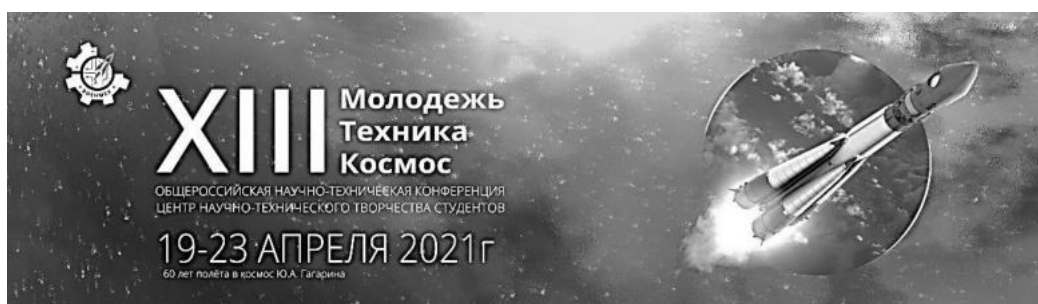


**Министерство науки и образования Российской Федерации
Балтийский государственный технический университет «Военмех»
Российская академия ракетных и артиллерийских наук (РАРАН)
Российская академия космонавтики им. К. Э. Циолковского (РАКЦ)
Санкт-Петербургское отделение**



МОЛОДЕЖЬ. ТЕХНИКА. КОСМОС

**Труды тринадцатой общероссийской
молодежной научно-технической конференции**

Том 2

**Санкт-Петербург, Россия
19 – 23 апреля 2021 года**

Библиотека журнала «Военмех. Вестник БГТУ», № 77

**Санкт-Петербург
2021**

УДК 629.78 : 623.4
М75

М75 **Молодежь.** Техника. Космос: труды тринадцатой общерос. молодежн. науч.-техн. конф. В 2 т. Т. 2. / Балт. гос. техн. ун-т. – СПб., 2021. – 340 с. (Библиотека журнала «Военмех. Вестник БГТУ», № 77).
ISBN

Публикуются статьи и доклады, представленные на XIII общероссийской молодежной научно-технической конференции «Молодежь. Техника. Космос», прошедшей в Балтийском государственном техническом университете «Военмех» им. Д. Ф. Устинова в апреле 2021 года в онлайн формате. Конференция была посвящена 60-летию первого полета в космос Юрия Гагарина и 90-летию со дня рождения выпускника Военмеха, летчика-космонавта, дважды Героя Советского Союза Георгия Гречко. Во второй том сборника вошли материалы секции «Системы управления и информационные технологии, радиотехника и схемотехника», «Робототехника и мехатроника», «Логистика и управление цепями поставок в высокотехнологичных отраслях национальной экономики» и «Экономика, управление и образование».

Для инженерных и научных специалистов, работающих в указанных направлениях, а также для студентов старших курсов и аспирантов профильных вузов.

Отзывы направлять по адресу: Россия, 190005, Санкт-Петербург, 1-я Красноармейская ул., д. 1. Редакция журнала «Военмех. Вестник БГТУ».

УДК 629.78 : 623.4

Редакционный совет: д-р техн. наук, проф. *К. М. Иванов* (председатель), д-р техн. наук, проф. *В. А. Бородавкин*, канд. техн. наук, доц. *С. А. Матвеев*, канд. техн. наук, доц. *А. А. Левихин*, доц. *М. Н. Охочинский*, нач. ЦНТТС *В. А. Толстая*, д-р техн. наук, доц. *А. Е. Шашурин*, д-р экон. наук, проф. *А. Д. Шматко*, канд. техн. наук, доц. *Л. П. Юнаков*, ст. преп. *К. А. Афанасьев*, асс. *Н. С. Слободзян*, ст. преп. *С. А. Чириков*

Ответственный редактор серии
«Библиотека журнала «Военмех. Вестник БГТУ»
М. Н. Охочинский

Начальник Центра научно-технического
творчества студентов (ЦНТТС)
В. А. Толстая

Публикуется в авторской редакции

ISBN

© БГТУ «Военмех», 2021
© Авторы, 2021

СОДЕРЖАНИЕ

СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ И ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ, РАДИОТЕХНИКА И СХЕМОТЕХНИКА	9
М. И. Астахов, Е. О. Камнев, А. Г. Максимов ПОДХОД В ПОСТРОЕНИИ САМООРГАНИЗУЮЩИХСЯ АЛГОРИТМОВ. СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ПОВЕДЕНИЕМ ОБЪЕКТА, СУДНА	9
А. А. Арутюнян, И. А. Мартынов ПРИМЕНЕНИЕ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ СТАНЦИЙ, КОМПЛЕКСОВ И СИСТЕМ	19
А. М. Безуглый, А. В. Чугреев РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ПОИСКА И ИДЕНТИФИКАЦИИ МАЛОРАЗМЕРНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ	23
А. А. Березина, А. И. Денисенко, Ю. В. Коноплев, Д. Б. Арефьева РАЗРАБОТКА СТРУКТУРЫ АДАПТИВНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ МИКРОКЛИМАТОМ РАСТИТЕЛЬНОГО ТЕРРАРИУМА	27
В. В. Блашников, А. И. Прокопьев, М. В. Рыжов, М. С. Фролов СИНХРОНИЗАЦИЯ ЧАСТОТНЫХ КАНАЛОВ В ЛОКАЛЬНЫХ РАДИОСЕТЯХ УЗКОПОЛОСНОЙ СВЯЗИ	33
К. А. Бычков, В. А. Брысина, А. Ю. Захаров, О. А. Мишина ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ДЛЯ ПРИНЯТИЯ СИТУАЦИОННЫХ РЕШЕНИЙ В БОРЬБЕ С ПРИРОДНЫМИ ПОЖАРАМИ	34
М. Я. Владимирова, А. А. Ким БЛОК ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ ЧАСТОТНОЙ МОДУЛЯЦИИ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ	39
Е. А. Горбуленко, Ф. М. Пелевин ПРОВЕДЕНИЕ ОЦЕНОК ПАРАМЕТРОВ ФОТОПРИЕМНИКА ДЛЯ ПРИЕМНОГО КАНАЛА ИМПУЛЬСНОГО ЛАЗЕРНОГО ДАЛЬНОМЕРА	45
К. К. Горелов, Д. С. Белов ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЕРОЯТНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СИГНАЛОВ	47
А. А. Ким, А. А. Моторин СИСТЕМА РЕГИСТРАЦИИ ДЕФОРМАЦИЙ КАК МЕДЛЕННЫХ ПЕРИОДИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ	52
С. И. Когаков ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДРЕВОВИДНОЙ СТРУКТУРЫ ДАННЫХ ДЛЯ ХРАНЕНИЯ ОБЪЕКТОВ 3D-СЦЕНЫ	58
М. А. Крылова ИССЛЕДОВАНИЕ ДИАГРАММЫ НАПРАВЛЕННОСТИ АКТИВНОЙ ФАЗИРОВАННОЙ АНТЕННОЙ РЕШЕТКИ ИЗ ИЗЛУЧАТЕЛЕЙ ВИВАЛЬДИ С ПОМОЩЬЮ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ	63
Ю. А. Локачева, В. А. Сеницын, А. П. Судин ИНТЕРПОЛЯЦИОННЫЕ АЛГОРИТМЫ ЦОС ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ СИГНАЛОВ	68
Н. С. Максимов, П. Ю. Шмаков МЕТОДИКА МОДЕЛИРОВАНИЯ СВЧ УСИЛИТЕЛЯ МОЩНОСТИ S- ДИАПАЗОНА В САПР ADS	73

Т. А. Матвеев КЛАССИФИКАЦИЯ СУЩЕСТВУЮЩИХ ЭКОСИСТЕМ ПРОГРАММНО- АППАРАТНЫХ СРЕДСТВ С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ ОБУЧЕНИЯ И ЭКСПЛУАТАЦИИ НЕЙРОСЕТЕВЫХ КЛАССИФИКАТОРОВ	77
М. И. Надежин, О. В. Ширококов, Ю. В. Жигулина, В. И. Тимофеева ПОДХОД К ДИАГНОСТИКЕ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ МЕТОДАМИ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ НАБЛЮДАТЕЛЯ СОСТОЯНИЯ ..	81
А. Ю. Новиков, П. П. Кейно ОРГАНИЗАЦИЯ ПОЛНОГО ЦИКЛА ДОКУМЕНТООБОРОТА НАУЧНЫХ КОНФЕРЕНЦИЙ С ПОМОЩЬЮ СИСТЕМЫ «ЛАБОРАТОРИЯ КОНФЕРЕНЦИЙ» В УСЛОВИЯХ ПАНДЕМИИ	87
Ю. В. Олейникова, А. И. Митюшов СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ КОДИРОВАНИЯ ПРИ ПЕРЕДАЧЕ ИНФОРМАЦИИ ЧЕРЕЗ ИНДУКЦИОННУЮ ЛИНИЮ СВЯЗИ	90
М. Б. Падкин НЕЧЕТКИЕ ЗАПРОСЫ В РЕЛЯЦИОННЫХ БАЗАХ ДАННЫХ	93
Ф. М. Пелевин, В. И. Светличный МЕТОД СТАБИЛИЗАЦИИ ЧАСТОТЫ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ПАУНД- ДРЕВЕР-ХОЛЛА	95
Д. О. Перминов ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ЭКРАНА НА ХАРАКТЕРИСТИКИ КОПЛАНАРНОЙ ЛИНИИ ПЕРЕДАЧИ	99
А. А. Петров ПРОГРАММНОЕ ПРИЛОЖЕНИЕ ДЕМОНСТРАЦИИ РАБОТЫ ГЕНЕТИЧЕСКОГО АЛГОРИТМА	104
А. В. Петров, А. И. Прокопьев, М. В. Рыжов ВОЗМОЖНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЧАСТОТНО-ИЗБИРАТЕЛЬНЫХ СВОЙСТВ АНТЕННЫХ СИСТЕМ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ИЗБИРАТЕЛЬНОСТИ РАДИОПРИЁМНИКОВ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ	107
Е. Д. Полулях БОРТОВОЙ ОТВЕТЧИК СИСТЕМЫ УВД С УЛУЧШЕННЫМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ	111
А. С. Разуваева, А. А. Ким ИССЛЕДОВАНИЕ СХЕМ ОПТОЭЛЕКТРОННОГО ГЕНЕРАТОРА И СРАВНЕНИЕ ПОЛУЧЕННЫХ СИГНАЛОВ	114
А. Н. Соборницкая РАЗРАБОТКА КОМПАКТНОЙ ПЛАТЫ РАСШИРЕНИЯ ДЛЯ NUCLEO-144 ДЛЯ РАБОТЫ С АНАЛОГОВЫМИ ДАТЧИКАМИ В ВЫСОКОМ РАЗРЕШЕНИИ. . .	119
А. Е. Спириин ПОДХОД К РЕАЛИЗАЦИИ КОНЦЕПТА ПОРТАТИВНОЙ ЭКСПРЕСС- ДИАГНОСТИКИ НА ОСНОВЕ МУЛЬТИФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СМАРТ- ДЕВАЙСОВ И ВИЗОКОНТРАСТОМЕТРИИ ЗРИТЕЛЬНОГО АНАЛИЗАТОРА КОСМОНАВТА В КОСМИЧЕСКОМ ПОЛЁТЕ	122
М. Д. Суров ЦЕНТР УПРАВЛЕНИЯ ПОЛЁТАМИ. РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ ПОКАЗА 3D МОДЕЛИ СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ	129
О. А. Терешенкова, И. А. Богдановский, А. А. Ким РАЗРАБОТКА ОБРАТНОЙ СВЯЗИ СИСТЕМЫ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ДИНАМИКИ СПЕКТРАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ОБЪЕКТА, ПОДВЕРГАЮЩЕГОСЯ ЛАЗЕРНОМУ ВОЗДЕЙСТВИЮ	131

В. С. Чадаев ЗАКОНЫ СТАБИЛИЗАЦИИ УГЛОВОГО ПОЛОЖЕНИЯ КВАДРОКОПТЕРА В РЕЖИМЕ ВИСЕНИЯ	136
И. С. Широков РАЗРАБОТКА МЕТОДА МАССОВОГО СРАВНЕНИЯ ФАЙЛОВ	141
Ю. А. Шмелев АЛГОРИТМ ЧАСТОТНО-ВРЕМЕННОЙ СИНХРОНИЗАЦИИ OFDM СИГНАЛОВ В КВ РАДИОКАНАЛЕ	145
Д. М. Ярыгин ОПЫТ ПРОВЕДЕНИЯ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ ПО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ «МЕТРОЛОГИЯ И РАДИОИЗМЕРЕНИЯ» В ДИСТАНЦИОННОМ РЕЖИМЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ ЕГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ	152
Д. М. Ярыгин РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ДИСТАНЦИОННОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРИГОДНОСТИ ВЫБРАННОЙ С ВОЗДУХА ПЛОЩАДКИ ДЛЯ ПОСАДКИ ВЕРТОЛЁТА	160
В. И. Гушина ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ СОВМЕСТИМОСТЬ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ .	164
РОБОТОТЕХНИКА И МЕХАТРОНИКА	169
Е. Ю. Антонова, Д. А. Невольников, Н. С. Слободзян ЗАДАЮЩАЯ И ИСПОЛНИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМЫ КОПИРУЮЩЕГО МАНИПУЛЯТОРА	169
В. А. Быков ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ОБЛИКА БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА ВЕРТОЛЕТНОГО ТИПА КОРАБЕЛЬНОГО БАЗИРОВАНИЯ	175
Л. В. Головкин ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОЗРАЧНОСТИ ВОДНОЙ СРЕДЫ НА ГЛУБИНЕ	180
А. В. Горбунова МЕХАТРОННОЕ УСТРОЙСТВО ИСПОЛНИТЕЛЬНОГО ОРГАНА МАНИПУЛЯТОРА	182
В. Д. Грагерт, В. О. Гончаров, Н. С. Слободзян, М. И. Надежин РЕАЛИЗАЦИЯ РЕЖИМА БЕЗДАТЧИКОВОГО УПРАВЛЕНИЯ СИНХРОННЫМ ДВИГАТЕЛЕМ С ПРИМЕНЕНИЕМ СОВРЕМЕННОГО МИКРОКОНТРОЛЛЕРА ...	184
В. Д. Грагерт, В. И. Зинченко, А. А. Киселев, Е. Б. Коротков МИКРОМИНИАТЮРИЗАЦИЯ ИСПОЛНИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ	189
А. И. Евстигнин, И. Ю. Гатчин КИБЕРФИЗИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО МОНИТОРИНГА ДЕФЕКТОВ МАГИСТРАЛЬНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ	196
А. В. Йосипенко, Д. Н. Байбосунов МЕХАНИЗМЫ С ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ СТРУКТУРОЙ В РЕЖИМЕ ВИБРОЗАЩИТЫ ПРИБОРОВ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ	203
Е. И. Кедрова ВЫБОР СИСТЕМЫ ОРИЕНТАЦИИ АВТОМОБИЛЯ В ПРОСТРАНСТВЕ ПРИ АВТОНОМНОМ ДВИЖЕНИИ	206
Д. А. Кондрашов РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ КИНЕМАТИКИ ДЛЯ СЕМИЗВЕННОГО МАНИПУЛЯТОРА ...	210

Д. Д. Конзалаева, И. А. Смирнов ОБЗОР ПРОКЛАДКИ МАРШРУТА МЕТОДОМ ПОТЕНЦИАЛОВ И СОЗДАНИЯ ТРЕХМЕРНОЙ МОДЕЛИ МЕСТНОСТИ	215
М. С. Лычагин ПРОЕКТИРОВАНИЕ ШАССИ РОБОТА ТРУБОЛАЗА	220
Д. А. Матахин ПРИМЕНЕНИЕ ДАТЧИКА MPU 6050 НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МИКРОКОНТРОЛЛЕРОВ ARDUINO UNO R3 И ARDUINO NANO В РОБОТОТЕХНИКЕ	222
А. В. Машкина, А. Ю. Бойко, В. И. Зинченко ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ КОЛЕСНОГО РОБОТА ДЛЯ РАБОТЫ В ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ	225
Д. В. Новицкая, О. И. Желтышев, И. О. Гришкевич, Д. Н. Захаров РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ СИЛОМОМЕНТНОГО ОЧУВСТВЛЕНИЯ МАНИПУЛЯЦИОННОГО РОБОТА ШАРНИРНОГО ТИПА	228
Н. П. Регионская, А. А. Деккер КИНЕМАТИКА МНОГОСЕКЦИОННОГО МЕХАНИЗМА НА БАЗЕ ГЕКСАПОДОВ	235
И. К. Тукуреев ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙРОИНТЕРФЕЙСНЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ В РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВАХ	239
П. Ю. Шамаков, Н. Н. Жильцов, А. Д. Ступкин, Н. С. Максимов РОЙ САМООРГАНИЗУЮЩИХСЯ МОРСКИХ РОБОТОВ ДЛЯ СОЗДАНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННО-РАСПРЕДЕЛЕННОЙ НАБЛЮДАТЕЛЬНОЙ СЕТИ В ОБЕСПЕЧЕНИИ СИСТЕМЫ ОПЕРАТИВНОЙ ОКЕАНОГРАФИИ	242
Д. В. Шаповалов, С. А. Мешков 3-ОСЕВОЙ ФРЕЗЕРНЫЙ СТАНОК С ЧПУ ДЛЯ 3D-ПРИНТЕРА	249
Д. В. Шаповалов, С. А. Мешков АНАЛИЗ ПРИВОДОВ, ПРИМЕНЯЕМЫХ В ПРИВОДАХ ГЛАВНОГО ДВИЖЕНИЯ В МЕТАЛЛООБРАБАТЫВАЮЩИХ СТАНКАХ	251
ЛОГИСТИКА И УПРАВЛЕНИЕ ЦЕПЯМИ ПОСТАВОК В ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧНЫХ ОТРАСЛЯХ НАЦИОНАЛЬНОЙ ЭКОНОМИКИ	256
А. А. Беляков РАСЧЁТ ХАРАКТЕРИСТИК ПЛАНА МЕРОПРИЯТИЙ ПО ПРЕДПОЛЁТНОЙ ПОДГОТОВКЕ НА ПРИМЕРЕ КОСМОДРОМА БАЙКОНУР	256
В. В. Бесогонов УНИВЕРСАЛЬНАЯ ТРАНСПОРТНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ	260
М. С. Демидов, С. М. Демидов, А. А. Сизова МОДЕЛИРОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ФОРМЫ ЗАРЯДА ТВЕРДОГО РАКЕТНОГО ТОПЛИВА ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ЛЕТАТЕЛЬНЫМ АППАРАТОМ	262
ЭКОНОМИКА, УПРАВЛЕНИЕ И ОБРАЗОВАНИЕ	266
М. М. Алексева, А. И. Лаптинский АНАЛИЗ ОПЫТА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРОГРАММНОГО СРЕДСТВА «JTSI MEET» В КАЧЕСТВЕ ИНСТРУМЕНТА ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ В АСПИРАНТУРЕ БГТУ «ВОЕНМЕХ» ИМ. Д. Ф. УСТИНОВА	266
С. Г. Амбросович ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ ПРАКТИЧЕСКИХ ДИСЦИПЛИН НА ПРИМЕРЕ РАДИОМОНТАЖНОЙ ПРАКТИКИ	269

А. А. Березовский ПРИМЕНЕНИЕ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ОНЛАЙН ОБУЧЕНИИ В ТЕХНИЧЕСКИХ ВУЗАХ В УСЛОВИЯХ ПАНДЕМИИ	272
Д. К. Дмитриев, В. А. Толстая ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОЕКТНЫХ ГРУПП СТУДЕНТОВ НА БАЗЕ ЦНТТС БГТУ «ВОЕНМЕХ», КАК ИННОВАЦИОННЫЙ МЕТОД ОБУЧЕНИЯ	275
А. В. Кириллов ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ИГРОФИКАЦИИ К КУРСУ «НАВИГАЦИЯ И БАЛЛИСТИКА»	278
И. Д. Костин, Ю. В. Фадеева ИННОВАЦИОННЫЕ МЕТОДЫ И ПОДХОДЫ ОБУЧЕНИЯ ИНОСТРАННОМУ ЯЗЫКУ В ВЫСШЕЙ ШКОЛЕ	281
М. А. Крылова ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ОБРАЗОВАТЕЛЬНОМ ПРОЦЕССЕ НА КАФЕДРЕ «РАДИОЭЛЕКТРОННЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ» БГТУ «ВОЕНМЕХ» ИМ. Д. Ф. УСТИНОВА	284
И. В. Лихачев ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКОГО АНАЛИЗА СТРУКТУРЫ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ КАК ПЕРСПЕКТИВНОГО ПОДХОДА В ОБРАЗОВАТЕЛЬНОМ ПРОЦЕССЕ	289
О. А. Игнатова УПРАВЛЕНИЕ РИСКАМИ ОРГАНИЗАЦИЙ СФЕРЫ УСЛУГ В УСЛОВИЯХ ВЫСОКОЙ КОНКУРЕНЦИИ НА РЫНКЕ РОЗНИЧНОЙ ТОРГОВЛИ	291
Н. С. Лесовых ВЛИЯНИЕ ЦИФРОВОЙ ЭКОНОМИКИ НА АДАПТАЦИЮ МОЛОДЫХ СПЕЦИАЛИСТОВ В ОРГАНИЗАЦИИ	296
М. В. Мирославская ПОДХОДЫ К ФОРМИРОВАНИЮ МОДЕЛИ ОЦЕНКИ ИННОВАЦИОННОГО РАЗВИТИЯ ПРЕДПРИЯТИЯ	300
М. А. Носова ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ДЛЯ РОССИИ СОВМЕСТНОГО С КИТАЕМ ПРОЕКТА ЛУННОЙ СТАНЦИИ	302
П. А. Оленичев, П. М. Лукичев СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ВОВЛЕЧЕННОСТИ СОТРУДНИКОВ КАК СПОСОБ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЯ (НА ПРИМЕРЕ ГК «ВОСТОК-СЕРВИС»)	305
К. Ю. Попова АНТИКРИЗИСНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ОРГАНИЗАЦИЕЙ В УСЛОВИЯХ ЦИФРОВИЗАЦИИ ЭКОНОМИКИ	307
А. О. Радаев ОБУЧЕНИЕ МАЛЫХ ГРУПП В СТРАТЕГИИ ЛИДЕРСТВА	311
А. Ю. Труфанова МАРКЕТИНГОВЫЕ СТРАТЕГИИ В УСЛОВИЯХ КРИЗИСА	314
Е. О. Фролова, В. А. Лобов ИЗМЕНЕНИЕ МЕТОДОЛОГИИ ПОДГОТОВКИ СПЕЦИАЛИСТОВ ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН НА КАФЕДРЕ «ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТРОЙСТВА АВТОМАТИЧЕСКИХ СИСТЕМ» С ПРИМЕНЕНИЕМ ЭЛЕМЕНТОВ ГЕЙМИФИКАЦИИ	316
С. С. Царьков ЧАСТНЫЕ ИНИЦИАТИВЫ ДЛЯ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ АЭРОКОСМИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА	322

Д. С. Щепланова	
МЕТОДИКА ОЦЕНКИ РИСКОВ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ КРУПНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРЕДПРИЯТИЙ	328
И. С. Юркова	
СТРАТЕГИЯ УПРАВЛЕНИЯ СБЫТОМ	332
АВТОРЫ СБОРНИКА	338

СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ И ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ, РАДИОТЕХНИКА И СХЕМОТЕХНИКА

УДК 517.925+629.7

ПОДХОД В ПОСТРОЕНИИ САМООРГАНИЗУЮЩИХСЯ АЛГОРИТМОВ. СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ПОВЕДЕНИЕМ ОБЪЕКТА, СУДНА

М. И. Астахов¹, Е. О. Камнев¹, А. Г. Максимов²

¹Балтийский государственный технический университет «Военмех» им. Д. Ф. Устинова

²АО «НПП «ПУЛЬСАР»»

«Простое», сложено сложнее сложного в основе сложенного «простым».
M. Berlin

Исследование направлено на изучение вопросов и проблем, существующих при построении архитектуры интеллектуальной системы, в том числе управления поведением объекта, способной получить геном AI.

В настоящей статье представлена часть полученных по результатам проведённых исследований выводов рассматривающих набор подходов и разработку самоорганизующихся алгоритмов, интеллектуальных систем, в том числе участвующие в получении знаний оптимизации и управлении cpa¹ системами. В качестве перспективных, позволяющих создать интеллектуальные системы и решить сформировавшийся набор проблем, представляются архитектуры:

а. гибридного типа, распределенная гетерогенная реконфигурируемая система;

б. программная топология с центральным алгоритмом, основанным на методе конечных элементов типа – «цифровой» двойник;

в. программное алгоритмическое ядро с собственной памятью типа – экспертная система, способные заложить программно топологический базис интеллектуальной системы.

Рост и эволюция перспективных технологий подтверждается набором высказываний:

1 «ведущую роль в познании теперь играют математическое моделирование и технологии вычислительного эксперимента»;

2 «все, что существует в физическом смысле, может быть вычислено с помощью компьютера, если для этого у него хватит памяти и времени».

Последнее, актуальная техническая задача, решаемая для определения коэффициента сложности, параметризации задач моделирования и способности решить таковые с применением вычислительных систем.

Говоря о создании динамических, интеллектуальных программных топологий, биоконцептов, систем, необходимо понимать, что архитектура и алгоритмы, которые предстоит разработать и заложить как базовый набор основываясь на определённом подходе и методах, позволят обеспечить создание благоприятной среды (пример: экосистемы) необходимой для возможности формирования искусственного интеллекта, а равно генома такового. Способность абстрагирования программной оболочки от аппаратных: энергообеспечивающих, вычислительных и приёмно-передающих (прим.: датчики, сенсоры «точки ввода») блоков, существующих в совокупном виде как часть единой в дальнейшем развитии и «умной» системы, позволит:

а. создать гибридный интерфейс искусственного интеллекта, основываясь на интегрированной «сети» физических объектов, обеспечив, в свою очередь, стабильное взаимодействия человека и машины в каждой сфере создаваемой новой кибернетической экосистемы;

¹ – Киберфизические системы.

б. сформировать дискретную, автономно существующую, вертикально и горизонтально масштабируемую модель – *parent*. Последняя представляется в виде фрейма области моделирования, содержащего семантическую сеть объекта² и системы: абстрактные классы, экземпляры и объекты, объект-типы, базовые методы связей и правила в том числе самоорганизации и самоопределения интеллектуальной системы. *Parent* модель = «геном» искусственного интеллекта [2].

Создание самоорганизующейся «*parent*» модели/системы, наилучшим образом, основываясь на исследованиях предметных областей в которые вошли актуальные и перспективные в том числе временно «замороженные» научные области и направления, представляется через формирование системы управления поведением объекта, где под объектом понимается любой физический (прим.: в том числе биологический) объект, участвующий напрямую или опосредовано в экосистеме человека. При этом под управлением понимается:

а. управление объектом в момент локализации такового в физической среде (прим.: определяемой предметной области);

б. управление процессом проектирования, модернизации объекта в том числе и «выключение» такового.

Актуальность, выбранной темы исследования обосновывается, во-первых, с фундаментальной стороны: процессы технологизации экосистемы человека и формирования экосистемы машин, содержат краеугольные правила, знания и базисы для науки, экономики, общества и человека как вида, поэтому, требуют предметного изучения и решения задач, направленных на устранение проблем, связанных с данными элементами тематики, что в свою очередь способствует построению «правильного» эволюционного процесса.

Во-вторых, с прикладной стороны, изучение компонентов предметных областей, привносимых в экосистему человека благодаря эволюции в том числе и научной мысли, показывает, что на настоящий момент: городские территории и автомобили различного класса – Яндекс, Tesla, Waymo, КамАЗ; воздушное пространство и воздушные суда – DJI Innovations, Ambarella, Boeing, GoPro, Lockheed, 3D Robotics, Parrot SA, Yuneec, являются перспективным и слабо организованным в технологическом аспекте направлением. Дополнительно актуальность настоящего исследования, обосновывается и подтверждается следующими работами учёных: «Изучение внутренних представлений, исходя из распространённых ошибок» – Джеффри Хинтон; «ROS: роботизированная операционная система с открытым исходным кодом» – Эндрю Бин; «Вероятностные графические модели: принципы и методы» — Дафна Коллер; «Долгосрочная кратковременная память (LSTM)» – Юрген Шмидхубер; «Интеллектуальное пространство — концепция и содержание», «Робот-помощник в распределённой интеллектуальной сенсорной сети» – Йо-Хо Ли; «Сверхразум: пути, опасности и стратегии» – Ник Бостром; «Байесовская иерархическая модель для изучения естественной среды» – Фей-Фей Ли, оказывающих влияние на вектор развития: машинного обучения, анализа больших данных, искусственного интеллекта.

Предмет настоящего исследования: архитектура алгоритмов, интеллектуальных систем в том числе системы управления поведением объекта интегрированная в объект типа судна – «Акватория-1б», беспилотный, автономный бот-катамаран.

За время, прошедшее от зарождения определившего начальные гипотезы развития, до современного состояния области науки занимающейся созданием программ и машин/систем обладающих «интеллектом», достижения учёного мира, учёных работающих над непосредственными задачами и направлениями определяющими понимания, в том числе необходимые для наиболее правильной постановки задач, можно вывести в виде определяющих взглядов, вектора сформировавшего направления исследуемые и интегрируемые на настоящем этапе уклада экосистемы в среду человека.

² – где под объектом понимается – носитель интеллектуальной системы, который по каким-то причинам передаёт модель или участвует в репликации таковой

Первым шагом, на этапе проектирования самоорганизующихся систем, выступает исследовательская задача, направленная на определение методов и формирование подхода к созданию непосредственно алгоритмистических моделей, способных соответствовать процессам формирования опыта, навыков и мышления человека, представление которых (прим.: моделей) можно уложить в набор навыков/знаний, претерпевающих развитие, переосмысление вместе с укладом экосистемы человека [7].

Начало работ в этом направлении положил интуитивный подход и Алан Тьюринг. Работы по эмпирическому тестированию и тест Тьюринга, позволили положить основу алгоритмам способным к динамическому развитию, реагирующих на по переменные события внешней среды и формировать при итерациях набор данных, оформленных внутренним типом знаний. Работа заложила основные идеи, новые взгляды, сравнивавшие между собой человека и машину. Подход отражает концептуальное представление и предполагает, что искусственный интеллект будет способен проявлять поведение равное человеку как виду, что не мало важно в «нормальных» ситуациях [4].

Поддержал направление данных работ и перевёл их в прикладную область автор языка Lisp Джонн Маккарти, первого языка символьных вычислений. Создание цифровых машин и Lisp, привело к уверенности в практической реализации искусственного интеллекта³ данными инструментами. Символьные вычисления предоставили возможность работать и оперировать фреймами-образцами, не чёткими, «мягкими» знаниями и их семантикой, сформировали символьный подход в направлении создания «интеллектуальных» машин. Преимуществом данного подхода стало умение выделять только существенную информацию, требующее гибкости в методах абстрагирования, где «примитивная» программа интерпретировала данные пред установленным способом. Данный подход применительно к разработке алгоритмов, позволил достичь создания новых правил в процессе выполнения программы. При этом предустановленные вводные инструкции сохраняли свою «ограниченность».

Наиболее предметную работу в направлении пониманий окружающих данных и знаний, соотношения таковых с фактами и аксиомами, представлений в виде множеств, в том числе нечётких и высказываний, являющихся условиями неопределённости, позволяющих системе приобрести правила и навыки, проводил Курт Гёдель. Результаты работ привели к формированию логического подхода в создании интеллектуальных систем, основанного на моделировании рассуждений, где теоретической основой служит логика.

Внимание учёных, сформировавшееся посредством рассматриваемого вектора можно сформулировать в двух представлениях, во-первых, работа и развитие отдельных методов машинного обучения, превалирующим среди таковых, применительно к современному этапу развития научных областей, выступает искусственная нейронная сеть. При этом формируется понимание, что отдельные методы машинного обучения и их повсеместное применение не являются шагом на встречу к созданию интеллектуальных систем. Во-вторых, изучение и определение места интеллектуальных систем в экосистеме человека, в эволюции и пост эволюционном состоянии таковой, понимание назначения создаваемого интеллекта и место человека как вида в отношении такового.

Полученные промежуточные результаты проведённого исследования, показывают: за время развития области науки занимающейся созданием программ и машин, обладающих «интеллектом», вовлечение многих предметных областей, имеющих практическое отношение к искусственному интеллекту, находятся по своему развитию и подготовленности к среде локализации на уровне экспериментальной модели/среды. Проводимый анализ вектора изучаемой научной области позволяет выявить, проблему, выраженную в понимании, представления относительно создания интеллектуальной системы, в том числе способной управлять поведением объекта, что позволяет сделать вывод об отсутствии полноценных исследований, а равно разработок программной топологии, компонентной и элементной базы, позволяющих в

³ – в том числе интеллектуальных систем.

совокупности спроектировать, разработать интеллектуальную систему. Данные результаты, определяют собой научную проблему проводимого настоящего исследования, изложенного в данной статье, а равно позволяют сформировать набор проблем, проблематику.

Решение определённого набора проблем, призвано найти ответ на вопрос определения вида и типа архитектуры интеллектуальных систем и положения искусственного интеллекта в эволюции экосистемы и человека как вида. В приводимых исследованиях проблематика изучается в концепте – системы управления поведением объекта, которая интегрируется на этапе разработки в изделие – беспилотное автономное судно «Акватория-16»⁴ [1, 6]. Проводимые исследования весьма обширны и авторы включили в настоящую статью полученные выводы по группе следующих направлений: а. изучение и прототипирование архитектуры искусственной интеллектуальной системы интегрируемой в представленной области локализации; б. исследование возможностей типа архитектуры – центральный программный процессор, через изучение отдельных видов образующих таковой алгоритмов (прим.: ДТ⁵, ЭС⁶);

Объект настоящего исследования: подход и методы создания архитектуры интеллектуальных систем и интеграция таковых в физический объект экосистемы человека.

Особенность исследуемой научной области в настоящем этапе технологизации и развития экосистемы связана с ориентированностью ведущихся разработок в направлении «умных» помощников, агентов. Ориентированность прикладных разработок, направленных на изучение человека как вида и создание интеллектуальной системы, привели к повышенному развитию интерфейсов, обеспечивающих гибридные сенсорные связи М-О-Н⁷ и агентно-ориентированного подхода.

Архитектура и алгоритм «умного» помощника построены на задаче восприятия среды локализации посредством интерфейсов. Данный концепт позволяет сформировать способность взаимодействовать с объектами в своей окружающей среде с помощью физики и методов обучения, применяя последние, только отвечающие способности «выживания» и адаптации агента к окружающей среде (прим.: включает выполнение задач). Основываясь на данном выводе, можно утверждать, что разработка алгоритмов поиска путей и принятия решений, первоочередная задача и один из ключевых модулей проектируемых интеллектуальных систем. Именно с вопросом принятия решений, порядком и оценкой такового и с последующей реакцией на переменные события среды, организацией источников данных, кластерной систематизацией знаний, доверием к таковым, связана важная часть набора проблем этапа проектирования архитектуры интеллектуальной системы.

Проектирование архитектур самоорганизующихся алгоритмов, а равно интеллектуальных систем, своей задачей ставит поиск и получение «правильно» организованных систем, которые можно встретить в окружающей человека природе. По действиям и результатам применяемых мер последние выступают в качестве эталонов относительной искомым архитектурных решений. Данный подход можно считать классическим, основанным на выявленной Дж. А. Уильер форме: процессы информационного и физического взаимодействия информационно неразличимы, но тождественны.

На современной начальной стадии эволюционного перехода изучение и прототипирование интеллектуальных систем, создают процессы оказывающее серьёзное влияние на ход эволюции общества, человека и знаний, приближая «постпетафлопный период» – фаза симбиоза компьютерного и человеческого интеллектов.

⁴ – ввиду реально существующей разработки технические подробности системы проектируемой в рамках проекта не раскрываются детально.

⁵ – ДТ – цифровой двойник.

⁶ – ЭС – экспертная система.

⁷ – Машина – Объект (прим.: «вещь») – Человек .

Первым изучаемым подходом в настоящем исследовании к построению архитектуры интеллектуальной системы, является создание гетерогенной распределённой адаптивной реконфигурируемой системы. Поиск решения и этап проектирования, экспериментов в данном направлении, показывает: во-первых, тип структуры основывается на принципах гетерогенной адаптивной реконфигурации программной топологии, распределённой обработки данных и включения среды локализации как субобъекта системы (прим.: НРС). Поскольку система в основе содержит GPGPU и ASIC в качестве ускорителей, что позволяет наилучшим образом решать задачи, стоящие перед интеллектуальными системами и методами машинного обучения.

При разработке архитектуры типа НРС, необходимо учитывать особенности и преимущества: а. пиковую производительность (прим.: FLOPS); б. энергетическую эффективность (прим.: FLOPS/Вт); в. реальную производительность (прим.: реальный FLOPS/пиковый FLOPS); г. объёмную эффективность (прим.: реальный FLOPS/м³).

Реконфигурация на уровне программной топологии достигается посредством интегральной схемы с предзаложенной программной прослойкой (прим.: микроархитектурой), способной менять внутреннюю структуру относительно события (прим.: задача/данные). Отметим, что наиболее подходящим элементом, обладающим данными техническими параметрами, является: FPGA. Современная FPGA обладает возможностями динамического конфигурирования «на лету», во время выполнения текущей задачи, причём как полностью, так и частично, последнее означает, что система может быть спроектирована в распределённом и многопоточном соотношении[3].

Дополнительным преимуществом в решении задач, реконфигурируемых являются показатели энергетической эффективности, реальной производительности и общей эффективности, превосходящие по значениям относительно существующих вычислительных систем.

Во-вторых, наличие в системе кластера, отвечающего за управление процессами и реконфигурацией ресурсов, позволяет настраивать систему под события из внешней среды «на лету».

В-третьих, узлы в данной архитектуре, реализуются на базе «памятицентрических» подсистем.

В-четвёртых, процессы обмена данными, коммуникационные соединения проектируются с применением стандартов OpenAPI/CCIX/REG-Z. Данные стандарты входят в стек реализующих концепцию «умной сетевой среды». В проектируемой архитектуре обеспечивают собой высокоскоростную коммуникацию данных с устройствами и узлами интеллектуальной системы.

В-пятых, данная архитектура содержит интеллектуальные блоки для прямого сообщения и подключения к объектам среды локализации, что позволяет интеллектуальной системе извлекать из потока поступаемых данных знания в процессе существования потока, практически «на лету».

В-шестых, важным элементом в настоящей архитектуре является модуль управления объектом. Подсистема, отвечающая за: меж элементную связь, процессы миграции, интеграцию непосредственно системы и объекта, оценку и реагирование на попеременные события среды.

В-седьмых, особенностью интерфейса прототипируемой архитектуры является динамическая масштабируемая сеть «точек ввода», обеспечивающая взаимодействие интеллектуальной системы с объектами среды локализации.

Ключевыми преимуществами разрабатываемой архитектуры являются:

- 1 «кроссплатформенность»;
- 2 реконфигурирование системы «на лету», учитывая контекст обрабатываемых данных и особенности стоящих задач (пример: благодаря стандарту OpenCL);
- 3 применение дескрипторов, например, в репозиториях алгоритмов машинного обучения и реконфигурации «налету»;
- 4 создание модуля общей распределённой памяти для хранения «больших данных»;

5 классификация процессов по степени важности и влияния на функционирование интеллектуальной системы «на лету» (прим.: создание «иммунной» подсистемы искусственного интеллекта).

Проводимые в исследовании тесты системы управления поведением объекта – «Акватория-16», показывают серьезные преимущества гибридной многопоточной, распределённой архитектуры в режиме решения задач: на каждом уровне обработки поступаемых данных каждым, участвующим алгоритмом. НРС допускает возможность работы с данными полученными комбинированным способом при условии: выбор проводного и беспроводного соединения устанавливается в зависимости от характеристик решаемых задач или выбирается объектом.

Архитектура исследуемой интеллектуальной системы, с конфигурированной в тип системы управления поведением объекта, интегрированной в изделие «Акватория-16», можно представить в следующем виде (пример: прототип): 1. центральный процессор с центральным алгоритмом (прим.: программным процессором); 2. набор логических блоков библиотек, подключён к внутреннему интерфейсу центрального программного процессора; 3. область памяти, определена зависимыми аппаратно-программными зонами длительных (3.1) и кратковременных (3.2) цепочек ячеек памяти. Зона длительных цепочек ячеек содержит полученную и записанную информацию, поделена на две доли, знания/ассоциативное «мышление» (3.2.1) и данные (3.2.2); 4. область питания, включает в себя центральное устройство питания (ЦУП), персональные устройства питания (ПУП) расположенные и включённые в сеть на физических объектах системы; 5. модуль связи; 6-7. «точки ввода» — интерфейс: человек-машина, машина-машина, машина-система, на рисунке 1.

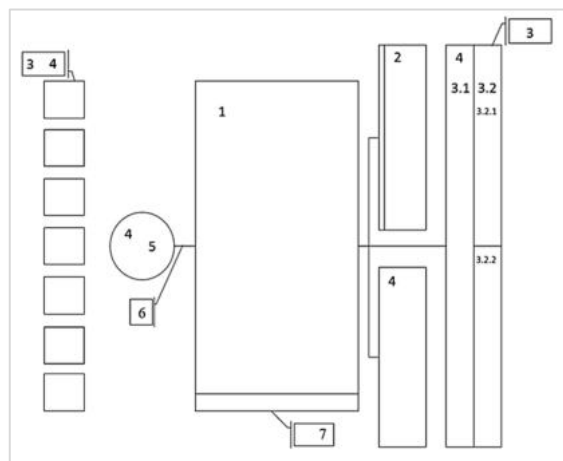


Рис. 1. Прототип архитектуры системы управления поведением объекта, создаваемой в проекте «Акватория-16»

Стоит подчеркнуть, что существующие стандарты и архитектуры вычислительных систем практически не ориентированы в направлении создания глобальной среды распределенных вычислений. При этом разрабатываемые стандарты нового поколения для концепта «IoT/IIoT» позволят повысить эффективность действия модели DIKW, наиболее правильным образом интегрировав таковую в интеллектуальную систему [1].

Вторым изучаемым подходом в настоящем исследовании к построению архитектуры интеллектуальной системы, является программная топология с центральным алгоритмом, основанном на методе конечных элементов типа – «цифровой» двойник.

Появление концепции «цифрового» двойника, сформировало собой представление виртуального прототипа существующего объекта как разновидность конфигурируемых систем:

а. PLM; б. PLM + ERP + датчики. Оформленное концептуальное представление цифровой модели: изначально создаваемый на стадии R&D центральный алгоритм, развивающейся за счёт самоорганизации, учитывающий каждую стадию производства, обслуживания и стадию «отключения», наиболее верно определило настоящую систему, создав инструменты и возможность проектирования архитектуры таковой. Создаваемая архитектура интеллектуальной системы, типа – «цифровой двойник», учитывает на уровне алгоритмистики (пример: центральный алгоритм) и программной топологии все стадии жизненного цикла создаваемого изделия, в том числе комбинаторику стадий и попеременно возникаемые воздействующие события среды, основываясь на методе конечных элементов.

Проектируемый тип архитектуры направлен на создание изделия – «вещи» в виде подключаемого, интегрируемого в экосистему человека на разном определяемом уровне объекта. Подобное обеспечивает масштабируемость данного типа архитектуры, выстроенная, в том числе, и на программной интеграции модулей с PLM/PDM системами.

Стоит отметить, что функциональную часть архитектуры «цифрового» двойника рассматривают не только как копию объекта физического, связывая ряд возможностей достигаемых за счёт технологических решений данной системы с биоинженерными задачами.

Сохраняется и ключевая проблематика изучаемой и проектируемой модели архитектуры, выраженное в представлении и понимании настоящей системы: места и роли (пример: уровни доступа к данным) в разрезе экосистемы человека.

На данный момент данный тип архитектуры, позволяет создать на этапе проектирования объекта интегрированную аппаратно-программную систему управления поведением объекта, реализуя принцип: «цифровая» модель – физический объект – «цифровой» двойник. Модель DIKW реализуется в архитектуре на основе параллельных потоков:

а. 0 приоритета – влияющие на «жизненно» важные модули и функции объекта;

б. 1 приоритета – определяющие правила, зависимости, роли. Значения первого приоритета отвечают за «осознание» объекта в среде локализации. Зависимости, вызывающие пере конфигурацию архитектуры данной системы, определяют понимание и представление разрабатываемого объекта и позволяют создать правильную систему управления моделью и объектом. Архитектура предусматривает изменение программной логики центрального алгоритма с сохранением основного логического «ствола».

Под правильной системой, понимается обладающая в своей архитектуре подсистемой отвечающей за наличие набора навыков и знаний достаточного для интеллектуального анализа получаемых данных о поведении физического объекта и человека.

Архитектура типа «цифровой двойник» реализована программной топологией вида:

1. интерфейс – «точки ввода» (прим.: датчики, сенсоры, оптические объекты), обеспечивает аппаратно-программное подключение к терминалу с со-процессором и частью главного алгоритма, областям памяти создаваемых объектов, роль – представление данных модели, интеграция в создаваемый объект программного процессора;

2. центральный алгоритм – выполняет основную логику, самоопределяет конфигурации собственной системы, контролирует реплики и интеграцию системы в создаваемый объект, роль – определяется в зависимости от базового и возможного назначения;

3. область памяти – отвечает за получение данных, улучшение и кластеризацию знаний, работу с областью памяти уже интегрированных с системой физических объектов и возможность сравнительного анализа, основанного на методе конечных элементов на предмет поиска или подтверждения правильности выбранного решения.

Тип изучаемой настоящей архитектуры интегрированной в составе системы или «сети» при непосредственном, взаимодействии с человеком, позволяет создать кастомизированный физический объект, а равно выпускаемое и применяемое человеком изделие, полностью отвечающее запросам и потребностям последнего.

Краеугольными методами подхода к проектированию архитектуры интеллектуальной системы, основанной на данном типе при проектировании непосредственно системы управле-

ния поведением объекта – «Акватория-16» являются: масштабирования и трансформации (прим.: наиболее применяемое название в научной литературе – метод конечных элементов). Первый на стадии проектирования обеспечит интеграцию функциональных возможностей, своего рода «программной закладки» доступ к которой будет иметь только сама система или «сеть n уровня», для адаптации в среде локализации при активации объекта. Второй, позволит по пути проектирования изделий решать прикладные и фундаментальные задачи в научных сферах, например, интеграция PLM с «живым» объектом позволит, проводить испытания путём создания «цифровой» копий воздействий среды эксплуатации, учитывая возникающие переменные события и зависимости сред.

Проводимые в настоящем исследовании тесты архитектуры системы управления поведением объекта типа «цифровой» двойник, интегрированной в процесс проектирования изделия и испытаний макетного образца «Акватория-16», показывают стабильное получение параметрических данных о состоянии: а. непосредственно объекта; б. среды окружения локализации; с. реакции объекта при получении «ожидаемых» и переменных/дискретных данных. Например, испытательный стенд фиксировал влияние физического объекта z на физический объект mark-I (прим.: «Акватория-16») видоизменяя конструктивную особенность корпуса, что позволило усовершенствовать физический объект по «ходу» разработки, а равно модифицировать объект.

Полученный в результате проведённых исследований тип архитектуры интеллектуальной системы – «цифровой» двойник, позволит не только снизить экономические затраты на производство изделий, объектов, но и создать новое поколение таковых по методу лучших из лучших.

Третьим изучаемым подходом в настоящем исследовании к построению архитектуры интеллектуальной системы, является программное алгоритмическое ядро с собственной памятью типа – экспертная система.

Достижение положительных результатов при проектировании и разработке изделий, а также смежные рабочие процессы, связанные с данными этапами, требуют учёта в предлагаемых конструкторских и инженерных решениях значительного количества условий и зависимостей, например, от материалов, особенностей элементов или независимых модулей.

На первом этапе интеграции IT во все процессы исследований и разработки объектов, изделий и создание PLM системы обеспечили стадии жизненного цикла изделия, а равно и стадию проектирования необходимыми данными, что в свою очередь является очень важным инструментом. Но растущая технологизация экосистемы человека, усложняют совокупные связи и зависимости возникающие на этапе проектирования, разработки, эксплуатации изделий. Роль, возможности и архитектура автоматизированных систем начинают пересматриваться и адаптироваться.

Интеграция элементно-компонентной и программной базы в архитектуру обеспечивающих систем, позволили создать на основе последних уровень структурированных и систематизированных по времени и процессам коммуникационных каналов Предприятия. Совокупно с доступностью, способностью данных и ростом вычислительных возможностей появляется запрос на интеллектуализацию подобной системы и разработку архитектуры соответствующего типа.

Архитектура интеллектуальной системы типа программного алгоритмического ядра с собственной памятью содержит:

1. модель DIKW и метод обратного распространения ошибки в качестве базиса алгоритма ядра;
2. логику построения ядра, основанную на алгоритмистике получения данных, оценки, выработки решений, получении знаний;
3. взаимодействие с модулем памяти (прим.: DBDK) в режиме постоянных запросов «вопрос-ответ», «данные-знания», «оценка-коэффициент ошибки».

Разрабатываемая программная топология и алгоритмическое ядро позволяет утверждать о возможности создания интеллектуальной системы. Поскольку разрабатываемый тип архитектуры, способен решать задачи, анализируя действия человека и на основе анализа формировать предлагаемые знания в виде советов или рекомендаций. Принимать при достаточном уровне

содержащихся знания самостоятельные решения. Посредством методов машинного обучения, киберфизической архитектуры, модуля памяти хранящего знания в виде набора последовательностей семантического организованных в пределах определённого фрейма (прим.: база знаний), самообучаться на основе результатов, принятых решений и оценок, выставляемых человеком получать новые знания. Основа алгоритмистики настоящей, разрабатываемой архитектуры типа экспертная система основана на DIKW-модели и в совокупности с таковой (пример: архитектурой) представляет вид сильной интеграции в экосистему человека, рис. 2 [5].

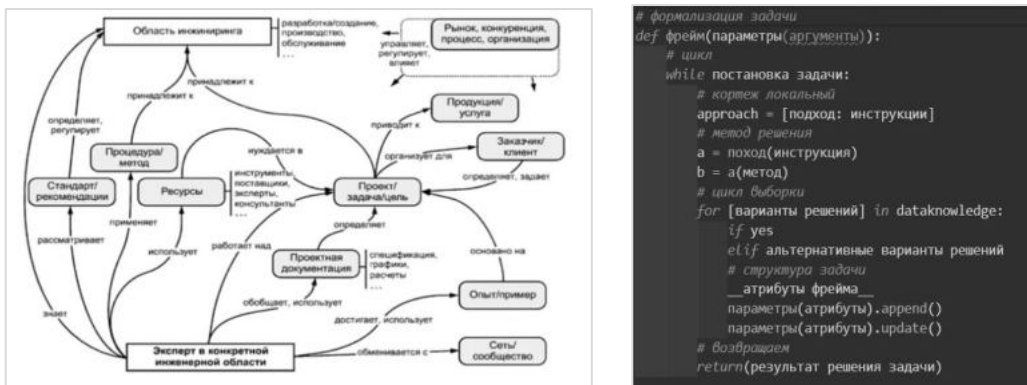


Рис. 2. Модель и формализованный алгоритм экспертной системы

Основные элементы настоящей архитектуры типа экспертная система:

1. модуль решатель – работает с DIKW (прим.: DataBase & DataKnowledge) внесение и вывод данных и знаний соответственно;
2. модуль самообучения – сравнение с пред заложенными в базе знаний фреймами, полученными ранее и перезапись на новый фрейм;
3. модуль принятия решений – основано на проверке, оценке и подтверждении каждого поступающего знания с существующими фреймами.

Проводимые в настоящем исследовании тесты архитектуры системы управления поведением объекта типа экспертная система, показывают следующие результаты. Плохо формализуемая задача, существующая и требующая решения на этапе проектировании изделия «Акватория-16» в виду количества моделей и акваторий локализаций каждой модели, определяют собой алгоритм принятия решений большой размерности, получила ряд положительных решений – рекомендаций. Программное ядро для решения данной поставленной не чёткой задачи задействовало решатель и модуль памяти содержащий на данный момент не большую базу пред заложенных знаний экспертов из судостроительной области и самостоятельно накопленных в процессе самообучения с подкреплением и «с учителем» знаний, структурированных особым видом связей, онтологий и правил. Результатом решения алгоритмики ядра стали рекомендации экспертной системы по применению отдельных, усиленных компонентов относительно температурных характеристик Арктики для модели «Наука», изделие «Акватория-16».

Дополнительно необходимо отметить, что архитектура интеллектуальных систем типа экспертные системы обладает следующим набором:

а. преимуществ:

- Масштабируемость: позволяет обращаться к экспертной системе в рамках выстроенной внутренней среды независимо от условий предустановки программного обеспечения или пользовательской вычислительной техники;
- Накопление знаний: схожие транзакции в системе обрабатываются наиболее подходящим способом и с учётом оценки и коэффициента ошибки, полученного за выполнение схожих транзакций.

- Развитие: периодическая переоценка принятых решений в совокупности с полученным коэффициентом ошибки, улучшает и позволяет получить новые знания и изучить новые области в многозадачном режиме;

- b. недостатков:

- Отсутствие мышления: система пока, что не может в полной мере реагировать на творческие задачи и применять творческие решения.

- Сенсорный опыт: система как помощник в настоящее время включает в себя ограниченное количество доступных интерфейсов получения данных.

Одним из ключевых преимуществ экспертной системы является запись каждого процесса, в котором участвует данная система, что позволяет контролировать работу на любом этапе и улучшать собственные знания системы. Последнее является важной особенностью поскольку интегрирование архитектуры типа экспертной системы в процессы происходит с пред заданным ограниченным объёмом знаний.

Полученные при проведении настоящих исследований достигнутые результаты, частично вошедших и представленных авторами в данной статье, позволяют сделать следующие выводы.

Фундаментальная область проделанных исследований может быть обусловлена систематизацией взглядов и работ учёных в изучаемой научной области, входящей в тематику настоящей статьи, выделяющей два основных направления в разработке, интеллектуальных систем, а равно искусственного интеллекта:

1. решение задач и проблем специализированных систем для выхода на уровень, соответствующий возможностям человека, и интеграции данных систем, посредством биосреды экосистемы с человеком;

2. создание искусственного интеллекта, интегрирующего существующие автономные системы в единую среду, способную решать проблемы человечества.

И два основных подхода к разработке искусственного интеллекта:

1. нисходящий (пример: Top-Down), семиотический – создание экспертных систем, баз знаний и систем логического вывода на основе высокоуровневых процессов: мышление, рассуждение, речь, эмоции, творчество;

2. восходящий (пример: Bottom-Up), биологический – изучение нейронных сетей и эволюционных вычислений, моделирующих интеллектуальное поведение на основе биологических элементов и создание систем способных воспроизвести данное поведение.

Изучаемые типы разрабатываемой архитектуры системы управления поведением объекта, можно рассматривать в качестве базиса создания «parent» интеллектуальной системы. Поскольку данные типы наиболее близко отвечают человеческому представлению интеллекта и разума, чем системы существующих «цифровых» помощников, агентов. Например, программная микроархитектура выступает корневым элементом, а в отдельных представлениях, стадиях методом, включающимся в алгоритмистику центрального программного процессора, отвечающего за восприятие и «самоопределение» физического объекта в составе машины и системы или «сети», а равно интеграцию и взаимодействие изделия, вещи и человека.

Остаётся и ряд ключевых, относительно изложенной в настоящей статье тематики проблем. Первая выражена крупнейшим открытым источником персональных данных – интернет и приобретением данными способностей. В связи с настоящей проблемой перед учёными, инженерами встаёт задача по защите данных и знаний перед киберугрозами, социально-кибернетической инженерии. Отдельно обращая внимание при поиске решений на безопасность ядра и стека перспективных технологий и систем искусственного интеллекта. Вторая представлена потребностью и рациональностью применения перспективных технологий. Соответствие должно отвечать не трендам, а действительной, необходимости, например, в интеграции системы.

Прикладная область проделанных исследований и разработок произведена в проекте «Акватория-16», взятого за базис и включает в себя следующий набор задач: испытания, отработка экстремальных ситуаций, поведение объекта в условиях экспериментальной среды, с

решением которых изучаемые типы архитектур интеллектуальных систем справились (прим.: результаты представлены авторами в настоящей статье).

Полученные результаты проведённых исследований и поставленных опытных экспериментов, позволили определить вектор разработки архитектуры искусственного интеллекта как антропоморфный. Ускорение: обмена данными, вычисления знаний, а равно связанный с данным событием рост процессов вычислительной, алгоритмической сложности, требующий применение надстроек, основанных на методах самообучения, где «примитивная» программа не способна оценить приоритетность, обработать, вычислить объём создающихся данных особенно влияющих на биосреду в том числе биологию самого человека увеличивающийся экспоненциально за короткий промежуток времени, открывает неограниченные возможности для создавая «генома искусственного интеллекта».

Библиографический список

1. *Астахов М. И.* Журнал «PRO движение». 2018. № 25.
2. *Астахов М. И.* Разработка архитектуры системы управления поведением объекта: основа // Сб. материалов молодежной конференции «Новые материалы и технологии в ракетно-космической, авиационной и других ведущих высокотехнологичных отраслях промышленности». №1. М: ООО «2 апреля», Звездный городок, 2019.
3. *Огурцова К. М.* Состояние и перспективы развития интегральных схем программно-конфигурируемых радиочастотных приёмопередатчиков // Электроника и микроэлектроника СВЧ. 2019. № 1.
4. *Тьюриг НА.* Может ли машина мыслить. М: Ленанд, Едиториал УРСС, 2016.
5. *Флах П.* Машинное обучение. Наука и искусство построения алгоритмов, которые извлекают знания из данных. Учебник. М.: ДМК Пресс, 2015.
6. *Говязина Е. Ю., Кладов К. В.* Smart Grid шаг в воду, «Омега-17» М.: Информационный интернет-портал «Техноспецназ.рф», 2017. [Электронный ресурс]. URL: <http://xn--80ajaj1abfirg8ar.xn--p1ai/2017/10/16/smart-grid-shag-v-vodu-omega-17/>.
7. *Чекмарёв А. И.* Переосмысление, перерождение, переизобретение – промышленный дизайн на стадии «Индустрии 4.0». М.: Информационный интернет-портал «Техноспецназ.рф», 2017. [Электронный ресурс]. URL: <http://xn--80ajaj1abfirg8ar.xn--p1ai/2017/01/26/pereosmyslenie-pererozhdenie-perezobretenie-promyshlennyj-dizajn-na-stadii-industrii-4-0/>.

УДК 004.94

ПРИМЕНЕНИЕ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ СТАНЦИЙ, КОМПЛЕКСОВ И СИСТЕМ

А. А. Арутюнян¹, И. А. Мартынов²

¹АО «Концерн ВКО «Алмаз-Антей»
²МФТИ

В период с 2017 по 2020 гг. в АО «Концерн ВКО «Алмаз-Антей» была успешно выполнена инициативная опытно-конструкторская работа (ОКР) по созданию отечественной системы автоматизированного проектирования радиолокационных станций, комплексов и систем («САПР-РЛС»). Назначение «САПР-РЛС», архитектура и особенности программной реализации описаны в [1 – 7]. В настоящей работе рассмотрены вопросы использования имитационного моделирования в задаче сквозного проектирования, приведен подход, позволяющий с

помощью имитационного моделирования осуществлять выбор и оптимизации проектных параметров радиолокационных средств.

Маршрут проектирования радиолокационных станций и систем.

Общий подход к проектированию радиолокационных станций (РЛС) и систем подразумевает получение узкого множества оптимальных по Парето вариантов РЛС, оптимизация осуществляется по различным назначаемым критериям (например, эффективность-стоимость). В качестве исходных данных задаются требования по основным тактическим характеристикам проектируемого изделия. Маршрут проектирования состоит из 4 основных этапов (рис. 1):

- предварительная оценка параметров;
- имитационное моделирование;
- технико-экономических анализ;
- Парето-оптимизация.

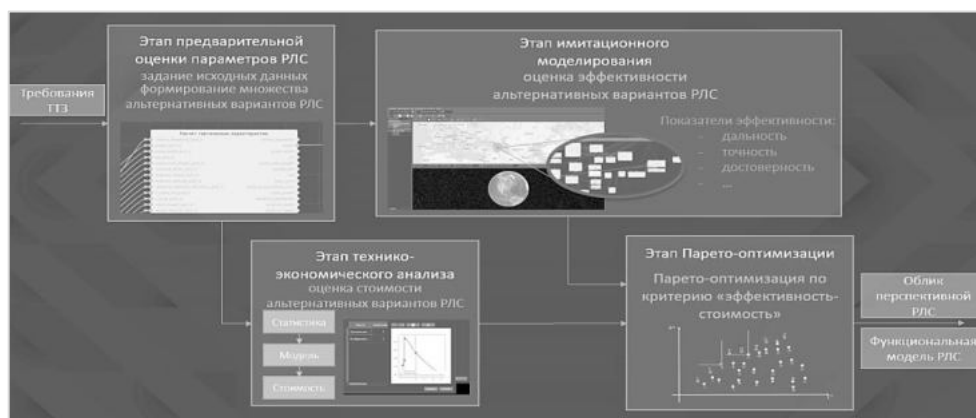


Рис. 1. Основные этапы маршрута проектирования

На *первом этапе* разработанного маршрута проектирования задается множество альтернативных вариантов РЛС, мощность которого может быть различной: от десятков до тысяч вариантов. Каждый задаваемый вариант РЛС описывается набором технических параметров, которые описывают как параметры РЛС в целом, так и параметры основных составных частей РЛС (антенна, приемник, передатчик, база и т.д.). На этом же этапе происходит первичный отсев бесперспективных вариантов посредством вычисления тактических характеристик каждого варианта и сравнения с целевыми показателями. Если какой-либо вариант РЛС не удовлетворяет требованиям к тактическим характеристикам, в дальнейшую проработку он не берется.

Основным этапом проектирования является *имитационное моделирование*. На данном этапе каждый отобранный вариант РЛС моделируется в различных помехо-целевых условиях, по результату проведения имитационного моделирования вычисляются обобщенные показатели эффективности РЛС. В качестве показателей эффективности могут использоваться как интегральные показатели, характеризующие качество радиолокационной информации с точки зрения надсистемы (математическое ожидание своевременно обнаруженных целей, коэффициент непрерывности радиолокационного поля и др.), так и частные показатели качества (коэффициент разрыва трасс, среднее время сопровождения, среднее время на захват цели и др.).

На этапе *технико-экономического анализа* производится первичная оценка стоимости каждого варианта РЛС. Стоит отметить, что конкретные численные значения не предназначены для принятия решений в части экономической политики или формирования бюджета на разработку РЛС, основное назначение данных по стоимостям вариантов РЛС – проведение сравнительного анализа вариантов между собой.

Последний этап предназначен для выделения из общего множества вариантов РЛС узкого Парето-оптимального подмножества на основе стоимости и эффективности каждого варианта РЛС. Окончательное решение о выборе конкретного варианта РЛС должен осуществить разработчик РЛС.

Особенности этапа имитационного моделирования. Как было сказано выше, этап имитационного моделирования в рамках маршрута проектирования предназначен для получения показателей эффективности вариантов РЛС, которые были отобраны на предыдущем шаге проектирования. На рис.2 приведен пример отобранных вариантов РЛС, поступивший на этап имитационного моделирования с предыдущего шага.

Варианты РЛС	Эффективность	Антенна/ФАР	Количество излучателей в азимут. плоскости ФАР	Антенна/ФАР	Количество излучателей в угл. плоскости ФАР	Антенна/ФАР	Центральная частота ФАР
1016	148820	50.0 Бр		52.0 Бр		3000000000.0 ГГц	
1017	154855	46.0 Бр		52.0 Бр		3000000000.0 ГГц	
1018	165076	50.0 Бр		48.0 Бр		3000000000.0 ГГц	
1019	154457	50.0 Бр		52.0 Бр		3000000000.0 ГГц	
1020	163484	42.0 Бр		52.0 Бр		3000000000.0 ГГц	
1021	160714	46.0 Бр		48.0 Бр		3000000000.0 ГГц	

Рис. 2. Множество вариантов РЛС

При этом имитационное моделирование должно осуществляться в конкретной радиолокационной обстановке. Для создания конкретных условий имитационного моделирования в «САПР-РЛС» разработан т.н. редактор радиосцены, который позволяет размещать изделие на местности, формировать налет средств воздушного нападения, настраивать параметры окружающей среды (например, задавать области осадков). На рис. 3 приведен редактор радиосцены.

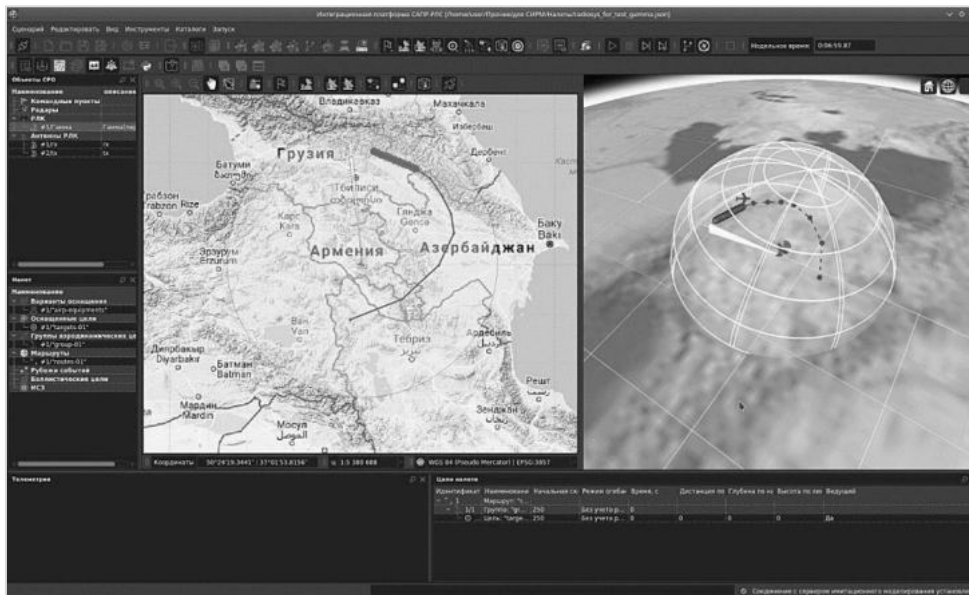


Рис. 3. Редактор радиосцены

Также, в целях повышения репрезентативности, каждый вариант РЛС необходимо моделировать в нескольких вариантах применения, то есть формировать не один сценарий моделирования, а планировать проведения сразу серии экспериментов. На рис. 4 приведён пример формирования трех сценариев имитационных экспериментов с различной радиолокационной обстановкой.

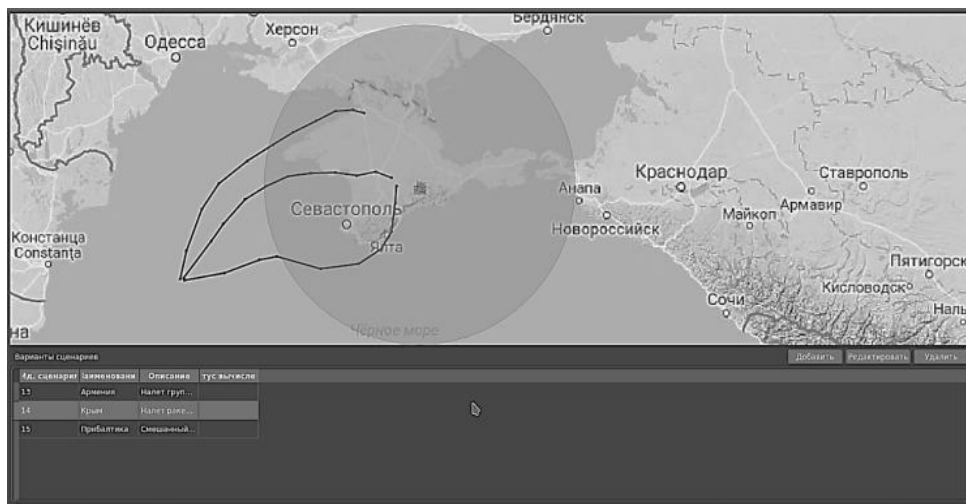


Рис. 4. Задание вариантов сценариев экспериментов

Таким образом, общее количество имитационных экспериментов рассчитывается как произведение количества вариантов РЛС на количество сценариев имитационных экспериментов.

Следует отметить, что в зависимости от мощности множества вариантов РЛС, а также количества сценариев имитационных экспериментов, общее количество сценариев моделирования, которое необходимо провести, может быть достаточно велико. При этом проведение каждого имитационного эксперимента можно осуществлять независимо друг от друга, поэтому несмотря на большие объемы вычислений, задача эффективно распараллеливается. В рамках «САПР-РЛС» проведение такого большого количества вычислений осуществляется с использованием суперкомпьютера АО «Концерн ВКО «Алмаз-Антей», который даже при большом количестве имитационных экспериментов позволяет получить результаты за приемлемое время.

В работе рассмотрен маршрут проектирования РЛС и РЛ-систем, который реализован в ходе инициативной ОКР по разработке «САПР-РЛС». Описан общий подход к проектированию, приведены особенности использования имитационного моделирования для решения задач выбора и оптимизации проектных параметров перспективных РЛС.

Библиографический список

1. *Созинов П. А., Коновальчик А. П.* Основные подходы к разработке отечественной системы автоматизированного проектирования радиолокационных станций и текущие результаты // Радиоэлектронная борьба. 2020. Т.1. №1. С. 62 – 74.
2. *Созинов П. А., Коновальчик А. П., Саушкин В. П.* Актуальные вопросы создания отечественной САПР для проектирования РЛС // Вестник воздушно-космической обороны. 2019. Вып. № 3 (23). С. 106 – 119.
3. *Коновальчик А. П., Конопелькин М. Ю., Плаксенко О. А., Щирый А. О.* Постановка задачи разработки и предварительная архитектура отечественной САПР РЛС полного сквозного цикла // Новые информационные технологии в автоматизированных системах. 2017, № 20. С. 127 – 130.
4. *Коновальчик А. П., Плаксенко О. А., Щирый А. О.* Концепция многоуровневого проектирования РЛС в разрабатываемой САПР РЛС полного сквозного цикла // Фундаментальные проблемы радиоэлектронного приборостроения. 2017. Т.17. № 4. С.889 – 892.
5. *Коновальчик А. П., Конопелькин М. Ю., Плаксенко О. А., Щирый А. О.* Отечественная система автоматизированного проектирования радиолокационных систем, комплексов и

станций с учетом средств воздушно-космического нападения // Научные технологии в космических исследованиях Земли. 2018, Т.10, №1. С. 40 – 47.

6. Коновальчик А. П., Плаксенко О. А., Щирый А. О. Функции имитации боевых действий в разрабатываемой отечественной САПР РЛС полного сквозного цикла // Вопросы радиоэлектроники. 2018. №3. С.30 – 34.

7. Коновальчик А. П., Плаксенко О. А., Щирый А. О. Реализация имитационного моделирования в разрабатываемой отечественной САПР РЛС полного сквозного цикла // Новые информационные технологии в автоматизированных системах. 2018, № 21. С.290 – 293.

УДК 623.4.023.43

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ПОИСКА И ИДЕНТИФИКАЦИИ МАЛОРАЗМЕРНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

А. М. Безуглый, А. В. Чугреев

Балтийский государственный технический университет «Военмех» им. Д. Ф. Устинова

Система поиска и обнаружения малоразмерных беспилотных летательных аппаратов (мБПЛА) состоит из множества взаимосвязанных средств и мероприятий, направленных на обеспечение безопасности территорий режимных объектов. Контроль безопасности воздушного пространства в пределах территорий важных объектов является ключевым фактором для сохранения государственной тайны и предотвращения диверсионных и террористических угроз. Важным аспектом современной борьбы с летательными аппаратами, является метод раннего обнаружения. Это позволяет выиграть необходимое время и использовать верную систему противодействия, так как, например, аппарат со взрывчатим веществом на борту опасно сбивать над населенным пунктом. Если вовремя не обнаружить данный объект, то список возможных методов борьбы уменьшается в несколько раз [1].

Разрабатываемая система совмещает в себе радиолокационное оборудование для обнаружения целей и оптическую систему точного определения координат. Радар обеспечивает дальнейшее обнаружение воздушных целей, однако диаграмма направленности луча радара недостаточно узка для ведения прицельного огня по малоразмерному БПЛА.

Лазерная система благодаря высокой чувствительности и быстродействию позволяет оперативно получить точные координаты одновременно множества целей и идентифицировать их. Точность нахождения угловых координат цели составляет до 0.1 мрад (10 см на 1 км, 30 см на 3 км). Высокая чувствительность достигается за счет использования лавинного фотоприемного устройства. Система состоит из лазерного источника инфракрасного излучения, безопасного для зрения человека, лавинного фотоприемника и сканера Рисли, для сканирования сектора, в котором радар обнаружил воздушную цель. Лазерный луч от сканера Рисли попадает на цель, отражается и возвращается на приемное устройство, в котором происходит обработка сигнала, определение пространственных координат цели и построение воксельной пространственной модели сопровождаемого лазерным лучом объекта.

Для обнаружения беспилотных летательных целей используется радиолокационное оборудование X-диапазона, способное одновременно находить до сотни целей и рабочим диапазоном частот 2400 – 2520 МГц.

В настоящее время в АО «Лазерные системы» разрабатывается система поиска и обнаружения мБПЛА, которая будет совместно работать как со стационарным, так и с мобильным лазерными комплексами. В качестве источника излучения планируется использовать импульсный волоконный лазер с длиной волны 1,5 мкм, пиковой мощностью до 600 Вт и длительностью импульса 3 нс. В ходе энергетического расчета лазера были получены следующие ре-

зультаты: по формуле (1) была рассчитана величина отраженной от цели мощности, принятой приемником излучения [2]

$$P_s(R) = \frac{P_{las} * A * \pi * \cos(\varphi) * D^2 * T_{opt} * T_{filt} * e^{-2\alpha * R}}{4R^2}, \quad (1)$$

где P_{las} – пиковая мощность источника, A – коэффициент диффузного отражения, φ – угол между оптическим лучом и нормалью к поверхности цели, D – апертура передающего телескопа, T_{opt} и T_{filt} – коэффициенты пропускания оптической системы и полосового фильтра рабочей длины волны источника, α – атмосферный коэффициент ослабления, R – расстояние до цели;

По формуле (2) была рассчитана мощность фоновой засветки [2]

$$P_b(R) = \frac{P_\lambda * A * \omega^2 * D^2 * \pi * T_{opt} * \Delta\lambda * e^{-2\alpha * R}}{16}, \quad (2)$$

где P_λ – спектральная плотность энергетической освещенности на 1,5 мкм, ω – угловое поле зрения фотоприемника, $\Delta\lambda$ – ширина спектрального фильтра;

Соотношение сигнал/шум для приемника излучения было рассчитано по следующей формуле (3):

$$SNR(R) = \left(\frac{P_s(R) * \sqrt{n}}{NEP * \sqrt{\Delta f + P_b(R)}} \right), \quad (3)$$

где n – отношение следования импульса к частоте обновления данных, NEP – шумовая эквивалентная мощность фотоприемника, Δf – полоса пропускания фотоприемника [2]. Перечисленные выше параметры имеют зависимость от метеорологической дальности видимости (МДВ) (рис.1 и 2). В качестве приемника излучения предлагается использовать лавинный фотодиод InGaAs, который обладает высокой чувствительностью. Пиковая чувствительность на длине волны 1550 нм составляет 0,94 А/Вт.

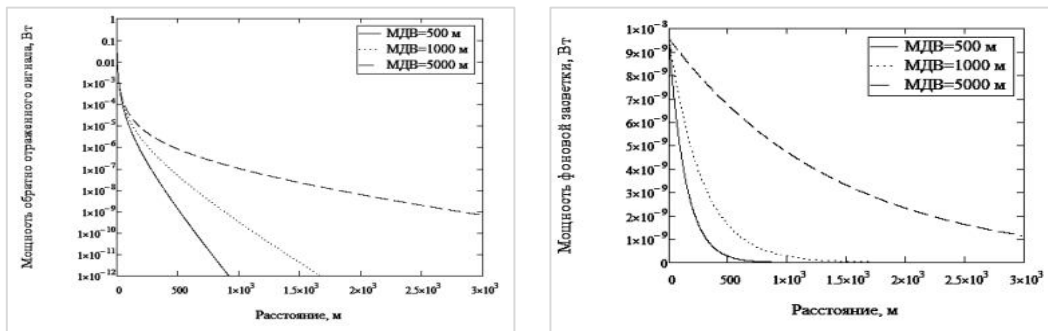


Рис. 1. Результаты энергетического расчета (слева – график распределения мощности обратно отраженного сигнала, справа – распределение мощности фоновой засветки)

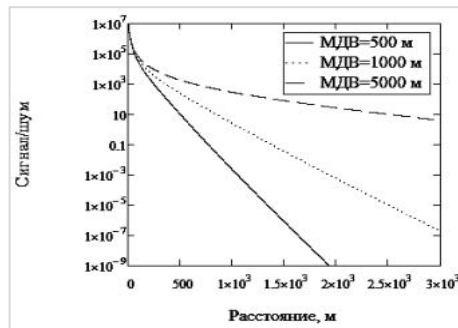


Рис. 2. Результаты энергетического расчета (распределение соотношения сигнал/шум приемника)

При хорошей видимости дальность детектирования воздушных целей составляет до 3 км.

Обозначенный ранее оптико-механический сканер Рисли представляет из себя четырех-призменный сканер для управления лазерным лучом. Четыре клиновидные призмы независимо вращаются и направляют лазерный луч в пространственном секторе. Расчет величины сектора производится с учетом углов призм по закону Снеллиуса.

$$n_1 \sin(\varphi_1) = n_2 \sin(\varphi_2) \quad n_1 \sin(\varphi_1) = n_2 \sin(\varphi_2) \quad (4)$$

Монохроматический пучок проходит через призму с клином, перпендикулярную ее плоской грани; это не вызовет отклонения луча. Однако на клиновидную поверхность луч падает под углом φ_i и преломляется с выходным углом относительно своего исходного оптического пути, φ_0 . Показатель преломления стекла обозначен как n_g , и предполагается, что показатель преломления воздуха n_a равен 1,00 и $n_g > n_a$.

На рисунке показан выходной угол относительно исходной оптической оси. Для использования закона Снеллиуса производится пересчет углов относительно нормали к границе раздела.

$\varphi_2 = \varphi_i + \varphi_0$, и формула (4) преобразуется

$$n_g \sin(\varphi_i) = \sin(\varphi_i + \varphi_0) \quad (5)$$

Угол падения равен физическому углу призмы,

$$\varphi_i = a \quad (6)$$

и решение для угла выходящего луча относительно угла входа дает

$$\varphi_0 = \sin^{-1}(n_g \sin(\varphi_i)) - \varphi_i \quad (7)$$

Физический угол призмы, скорее всего, будет меньше 17° , поэтому приближение малого угла может быть применено к формулам (7) и (5), что дает

$$\varphi_0 \approx (n_g - 1)\varphi_i \quad (8)$$

как модель выходного угла из призмы. В рамках приближения малого угла также можно показать, что луч может входить как с плоской, так и с клиновидной стороны призмы, и свет будет иметь тот же угол выхода, что и по формуле (8).

Угол падения луча на призму φ_i – это поле зрения системы, в разрабатываемом устройстве этот параметр равен $\pm 20^\circ$. Призмы изготовлены из оптического стекла марки К8 с показателем преломления равным 1,501 для длины волны 1,5 мкм, покрытие – ИК просветляющее. Зная эти величины, можно найти угол выходящего из призмы луча φ_0 , исходя из формулы (8). Общий путь, который проходит луч через сканер Рисли, показан на рис. 3.

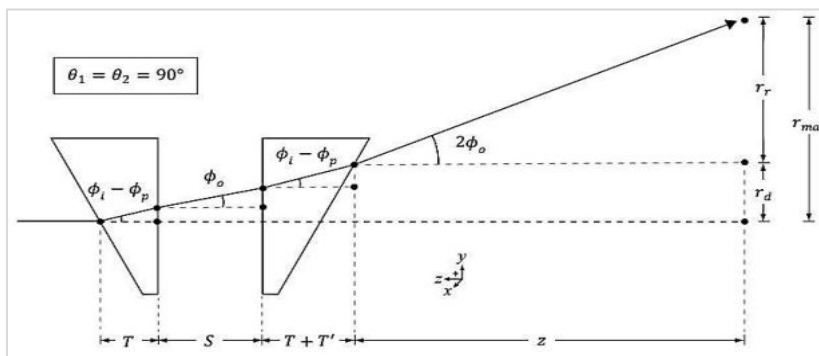


Рис. 3. Путь луча, проходящего через сканер призм Рисли, когда обе призмы находятся в исходном положении, что обеспечивает максимальное смещение луча (θ - угол поворота призмы относительно оптической оси, r_{max} – общее отклонение выходного луча от оси) [3]

Основные элементы сканера: коллиматор с оптоволоконном (1), модуль сканирующий (2) и модуль наведения (3), в которых при повороте оправ с призмами происходит изменение угла

направления лазерного пучка, угловой датчик положения призм модуля наведения (4), объектив сканера (5) – рис. 4.

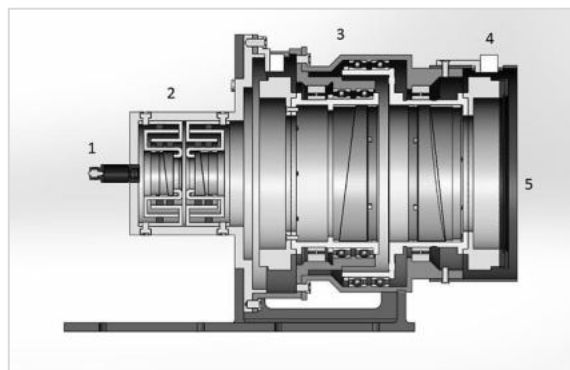


Рис. 4. Внутреннее строение сканера Рисли

Для детектирования множества малых движущихся целей необходимо использовать радиолокатор X-диапазона. Использование сантиметровых длин волн излучения обусловлено нанесением антирадарных покрытий на цели и, как следствие, малыми значениями эффективной площади рассеивания (ЭПР). Сантиметровые длины волн имеют расчетные дальности обнаружения МБЛА 12-25 км при ЭПР цели равной 0,1. Исходя из этого, в качестве радиолокатора была выбрана пассивная система обнаружения БПЛА «Генезис Анти-Дрон-1», производством компании «Техногенезис». Ее основные характеристики представлены в таблице 1.

Таблица 1
Основные характеристики радиолокатора

Дальность обнаружения, м	5000
Рабочий диапазон частот, МГц	2400 – 2520
Обнаруживаемый диапазон частот, МГц	300 – 6000
Точность обнаружения, град	3
Габаритные размеры, мм	470×250
Масса, кг	10

Итоговый внешний вид разработанного эскиза системы поиска и идентификации представлен на рис. 5.

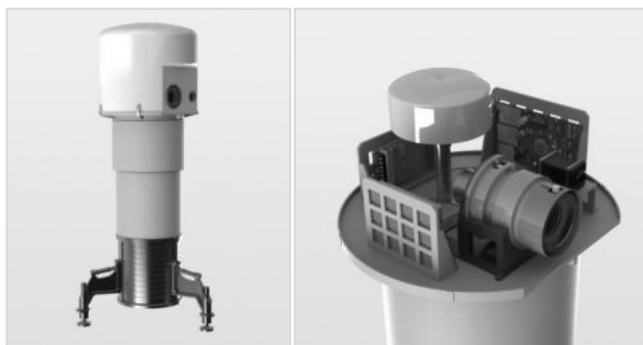


Рис. 5. Модель системы поиска МБЛА (слева – внешний вид, справа – вид без купола)



Рис. 6. Оборудование, установленное на платформе в системе

Изделие обладает следующими характеристиками: высота – 1685 мм, внешний диаметр – 852 мм, масса – около 60 кг. Поворотная платформа с оборудованием вращается вокруг собственной оси при помощи зубчатого соединения с электроприводом, это обеспечивает системе полный обзор в секторе 360°. Дальность обнаружения целей более 3 км с возможностью работы при хороших погодных условиях.

Библиографический список

1. Семенец В. О., Трухин М. П. Способы противодействия беспилотным летательным аппаратам // Научные технологии в космических исследованиях Земли. 2018. Т. 10. №3. С. 4 – 12;
2. H. N. Burns, C. G. Christodoulou System design of a pulsed laser rangefinder // OPTICAL ENGINEERING / March 1991 / Vol. 30 No. 3 / pp. 323 – 329.
3. Thorlabs.com Risley Prism Scanner // Application Note.

УДК 64-52, 62-503.57, 62-791.2

РАЗРАБОТКА СТРУКТУРЫ АДАПТИВНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ МИКРОКЛИМАТОМ РАСТИТЕЛЬНОГО ТЕРРАРИУМА

А. А. Берзина, А. И. Денисенко, Ю. В. Коноплев, Д. Б. Арефьева

Балтийский государственный технический университет «Военмех» им. Д. Ф. Устинова

На сегодняшний день системы автоматического управления широко применяются для большей эффективности и надежности производства, для осуществления операций, которые в обычных условиях, без автоматизации производственных процессов, требуют достаточно много затрат людских ресурсов. Глядя на подобные тенденции современности, становится очевидным, что переход от ручной рабочей силы к автоматизированным системам, где оператору остаётся лишь задавать входные воздействия и отслеживать корректность выполнения системой поставленной задачи или каких-либо процессов и операций, – значимо оптимизирует производственные и промышленные ресурсы. Однако, оператору далеко не всегда представляется возможным отслеживать работу каких-либо устройств в полной мере и своевременно задавать управляющие воздействия [6]. Примером подобных ситуаций может быть необходимость постоянного мониторинга и поддержания требуемых условий, или же доста-

точная массивность установок и неиндивидуальное обслуживание. Решением в таких случаях может являться применение автономной системы контроля и адаптивного управления, способной практически исключить участие человека в процессе работы какого-либо устройства.

В связи с тем, что проблема выращивания сельскохозяйственных культур, где особенно остро стоит проблема вегетации в агрессивных средах, очень актуальна, – системы жизнеобеспечения и поддержания благоприятных условий для растений получают все большее распространение и набирают как коммерческий потенциал, так и научную значимость.

Так, на современных агрофермах и промышленных теплицах широкое распространение получают технологии взращивания и поддержания необходимых условий окружающей среды, организованные системой автоматизированного управления и регулировки параметров для растительных культур. Подобного рода системы значимо оптимизируют промышленные ресурсы, делая работу человека физически менее затратной, т.к. большинство операций контролируются им как оператором, исключая обслуживание каждой из культур вручную. Такой подход позволяет влиять на качество жизни растений, поддерживая его на должном уровне, что особенно справедливо для масштабных агроферменных комплексов. Также очевидны преимущества рассматриваемого метода взращивания и поддержания растительных культур в средах, где необходимые условия существования в принципе обеспечить естественными условиями невозможно. Так, на околоземных космических станциях, или в условиях жесткого климата в приарктических областях становится возможным снабжать людей необходимым кислородом и питательными растениями.

Управляемые системы для выращивания и исследования сельскохозяйственных культур в искусственных средах можно подразделить на:

1. Промышленные тепличные комплексы и теплицы для использования в условиях Крайнего Севера и Арктики с АСУ
2. Научные оранжереи космического назначения
3. Фитотроны
4. Лабораторные исследовательские установки.

Из отечественных предприятий особенно преуспели в производстве автоматизированных систем управления климатом для тепличных комплексов такие компании как: Антрел, АгроИталСервис и Схемотехника. Сравнительный анализ функционала систем, разрабатываемых данными производителями, представлен в таблице 1 [1].

Таблица 1

Анализ функционала систем, разрабатываемых отечественными производителями

Функция / Предприятие	Антрел	АгроИталСервис	Схемотехника
Измерение давления внутреннего воздуха	+	–	–
Измерение температуры внешнего воздуха	+	+	+
Измерение температуры наружного воздуха	+	+	+
Измерение температуры почвы	+	+	+
Измерение температуры почвы у корня	+	+	+
Измерение температуры листа	–	+	+
Измерение влажности внутреннего воздуха	–	+	+
Измерение влажности наружного воздуха	–	+	+
Измерение уровня кислорода	+	–	–
Обогащение кислородом	+	–	–
Детектирование уровня углекислого газа	–	+	+
Обогащение углекислым газом	–	+	+
Вытяжная вентиляция	+	+	+
Полив системой «Искусственный дождь»	+	–	–
Измерение температуры пленки	–	+	–
Измерение температуры в контуре отопления	–	+	–

Работа с оранжереями обеспечивает проведение исследований и способствует решению вопросов в области фундаментальной биологии, а также вопросов проработки режимов культивирования растений для перспективных космических систем жизнеобеспечения. Примером такой оранжереи космического назначения является система Veggie (NASA), установленная на международной космической станции (рис. 1) [2].

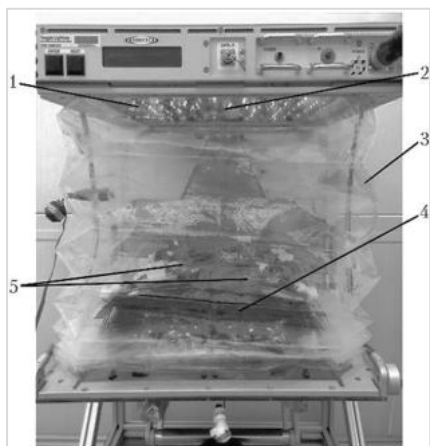


Рис. 1. Оранжерея Veggie:

1 – светодиодный излучатель; 2 – вентилятор;
3 – гофрированный чехол; 4 – посадочная плата;
5 – субстратные подушки с почвозаменителем и семенами растений



Рис. 2. Закрытая климатическая камера для роста растений Фитотрон ЛиА – 2 (группа компаний «Лазеры и аппаратура»)

Фитотрон (grow box) – частично или полностью закрытая система для взращивания растений в изолированных камерах. Такие устройства используются при отсутствии благоприятного климата в открытом грунте или при необходимости выращивания овощей, трав и цветов в холодные месяцы. Фитотроны также могут защищать растения от вредителей или болезней, способствуют росту растений за более короткий срок. Закрытые фитотроны имеют встроенную систему вентиляции и вытяжки, фильтр для контроля влажности, систему гидропоники, наполняющую растения богатым питательным раствором. Усовершенствованные модели включают в себя систему кондиционирования воздуха, обеспечивающую поддержание пониженной температуры, а также систему снабжения углекислым газом, обеспечивающую повышение темпов роста растений [3]. Помимо контроля оптимальной температуры, элементы фитотрона позволяют пользователю поддерживать световую норму, уровни питания исполнительных устройств и другие условия для индивидуально выбранных растительных культур. Пример подобной закрытой климатической камеры для роста растений отечественного производства Фитотрон ЛиА-2 (группа компаний «Лазеры и аппаратура») приведен на рис. 2.

Однако, из-за высокой стоимости фитотрона, многие научно-исследовательские лаборатории и институты не могут приобретать данное оборудование. Возникает необходимость разработки более дешевого аналога фитотрона – лабораторной установки (или стенда), реализующей требования по микроклимату [4].

Примером такого решения является исследовательская минитеплица с регулируемыми режимами работы, разрабатываемая на кафедре инжиниринга и менеджмента качества в Балтийском государственном техническом университете «ВОЕНМЕХ» им. Д. Ф. Устинова. Структура системы управления искусственным микроклиматом минитеплицы представлена на рис. 3.

Структура системы управления искусственным микроклиматом минитеплицы включает в себя следующие блоки: блок «Объект исследования», блоки датчиковой системы, блоки исполнительных элементов, блок управления нижнего уровня, блок управления верхнего уровня.

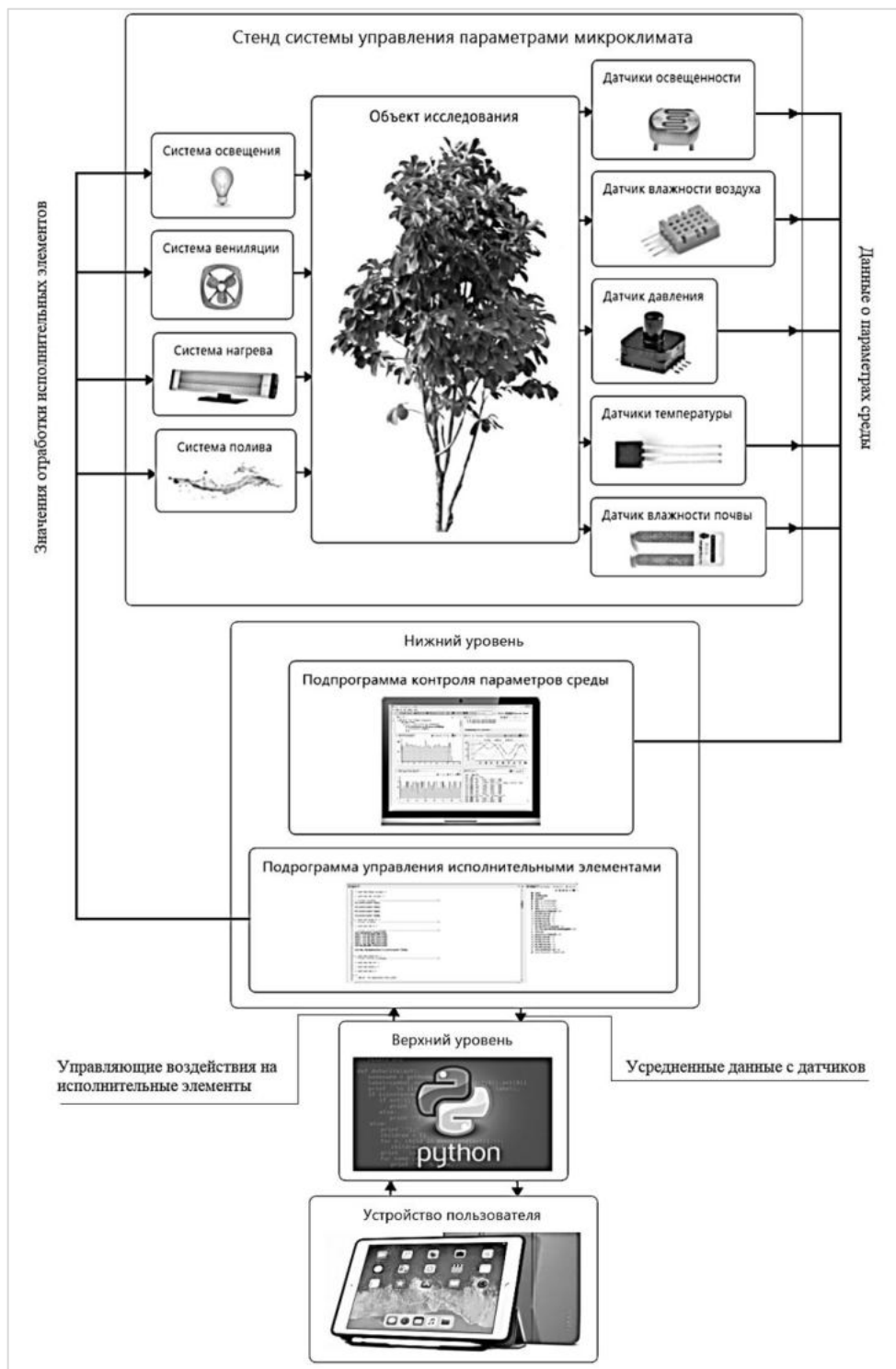


Рис. 3. Структура системы управления искусственным микроклиматом минитеплицы, разрабатываемой в БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова

Под объектом исследования понимается конкретная растительная культура, параметры среды которой подстраиваются под нее индивидуально. В качестве объекта исследования могут быть приняты некоторые цветочные виды или плодовые культуры, способные расти в условиях, близких к типовым.

Блоки датчиковой системы предполагают распределенное внутри объема террариума размещение датчиков физических величин, а именно: измерения освещенности (Лк), измерения влажности воздуха (%), измерения атмосферного давления (Па), измерения температуры (°C), определения степени влажности почвы (%). С целью более точного представления создаваемых для растений условий, в соответствии со схемой освещения, предполагается использовать несколько датчиков измерения освещенности – фоторезисторов, изменяющих свое электрическое сопротивление в зависимости от интенсивности света. Хорошей альтернативой датчику температуры является термометр с цифровой индикацией.

Блоки исполнительных элементов – набор независимых друг от друга в плане управления механизмов и электроприборов, непосредственно корректирующих условия среды. К наиболее значимым исполнительным элементам относятся системы освещения, вентиляции, нагрева и полива. Система освещения предполагает распределение комбинаций светодиодных излучателей синего и красного света в разных местах террариума с целью равномерного освещения поверхностей исследуемого объекта, где интенсивность освещения регулируется командами, приходящими на микроконтроллер. Вентиляционная система предполагает выдув застоявшегося или чрезмерно влажного воздуха, а также подвод или отвод теплого воздуха через вентиляционный короб, в зависимости от вида и состояния исследуемого объекта. Система нагрева воздуха в террариуме представляет маломощный обогревательный аппарат с керамическим нагревательным элементом, закрытым защитной решеткой и расположенном на безопасном для объекта исследования расстоянии. Также, систему нагрева можно реализовать посредством применения технологии «Теплый пол». Система полива реализуется капиллярным способом, посредством распределенного размещения по периметру стенок террариума распылителей, или же передвижных каретных механизмов, приводимых в движение работой шагового двигателя. Системой полива в автоматизированном режиме обеспечивается снабжение исследуемого объекта влагой и питательным раствором (растворенными в воде минеральными удобрениями) в необходимом количестве, гарантированном длительностью и периодом распыления, заданными пользователем.

Блок управления нижнего уровня реализуется в виде подпрограмм контроля параметров среды и управления исполнительными элементами. В качестве микроконтроллеров, считывающих показания датчиков и управляющих величиной отработки исполнительных элементов, предполагается использование 32-битных микроконтроллеров семейства STM32. Применение микроконтроллеров именно этого семейства обусловлено наличием грамотно выстроенной экосистемы: наличие готовых отладочных комплектов (плат), бесплатных библиотек и различных фирменных утилит от ST, – а также вычислительной быстротой, надежностью и относительно не большой стоимостью самих контроллеров [5]. Непосредственно программирование контроллеров осуществляется в среде STM32 Cube и/или TrueStudio. Совместное использование обеих сред разработки позволяет гибко изменять конфигурацию функционала и алгоритмов управления.

Блок управления верхнего уровня – программа, работа которой основана на алгоритме обработки и подсчета данных. Описание алгоритма: программа производит обработочный анализ принятых усредненных данных с датчиков, сравнивая их со значениями (соответствующими значениям параметров среды), заранее заданными и оптимальными для комфортной среды объекта исследования, и вычисляет разницу фактических значений от требуемых. Далее программа формирует массив данных, содержащих информацию о величинах отработки каждого из исполнительных элементов, и, после подтверждения пользователем, данные приходят с обратным пересчетом на блок управления нижнего уровня, и от него до исполнительных элементов [7]. Пользователь при этом может наблюдать за корректностью выполнения

процессов организации условий среды в режиме реального времени, и, при необходимости вносить изменения. Интерфейс программы управления может быть адаптирован под планшетные компьютеры.

Предполагаемые размеры (Ш×В×Т) корпуса стенда формы прямоугольного параллелепипеда – 50×100×50 см. Конструктивно, стенд должен быть целостным, достаточно прочным и устойчивым. Основные исполнительные элементы системы управления микроклиматом планируются располагать на ребрах корпуса, а также на нижнем и верхнем основаниях. В качестве боковых стенок используются листы из прозрачного оргстекла.

На данный момент разработаны структурная и функциональная схемы системы управления микроклиматом растительного террариума, проведен анализ существующих решений и произведен подбор предполагаемой компонентной базы. Ведутся работы по проработке конструктива исследовательского стенда (минитеплицы) и разработке принципиальной электрической схемы системы.

Разрабатываемая автоматизированная система управления микроклиматом теплицы способна подбирать и поддерживать заданный режим работы с эффективным использованием ресурсов. Выращивание растений в предлагаемой теплице осуществляется практически без непосредственного участия человека. Рассматриваемая система управления параметрами микроклимата является адаптивной и подстраивается под разные объекты исследования. Описанная система реализуется по модульной технологии, что делает ее также масштабируемой, и, как следствие, возможной к интегрированию как в лабораторные или комнатные теплицы, так и в промышленные комплексы.

Библиографический список

1. *Истомин К. В.* Система автоматического управления микроклиматом малой теплицы для выращивания citrusовых растений в климатической полосе Южного Урала в тепличном хозяйстве. [Электронный ресурс]. URL: // <https://dspace.susu.ru/handle/0001.74/16503>, дата обращения – 20.01.2021.
2. *Беркович Ю., Смолянина С., Железняков А. Гузенберга С.* Перспективы применения космических оранжерей в комплексе систем жизнеобеспечения космонавтов в условиях лунной орбитальной станции, лунной базы и межпланетных транспортных кораблей // *Космическая техника и технологии.* 2019. Вып. №2. С. 37 – 54.
3. *Кидыко Ю. И., Белехов И. Н., Самарин Г. Н., Александров А. И.* Фитотрон энергосберегающий универсальный // *Известия Великолукской государственной сельскохозяйственной академии* 2018. Вып. № 4. С. 10 – 13.
4. *Лухманов В. С., Хрусталёва А. В.* Автоматизированная система управления искусственным микроклиматом теплицы для выращивания и развития растений различных видов // *Ступени роста* 2018. Кострома: 2018. С. 43 – 44.
5. Новая доступная среда разработки для микроконтроллеров STM32. [Электронный ресурс]. URL: // <https://www.compel.ru/lib/94230>, дата обращения – 30.03.2021.
6. *Юев А. А., Ширинов А. Д., Евстигнеева Е. И., Кошелев П. Е., Коноплев Ю. В.* Разработка беспроводной системы контроля и мониторинга электронных устройств // В сб.: *Решетневские чтения. Материалы XXIII Международной научно-практической конференции, посвященной памяти генерального конструктора ракетно-космических систем академика М. Ф. Решетнева. В 2-х частях.* Под редакцией Ю. Ю. Логинова. 2019. С. 157 – 159.
7. *Куксенко Д. С., Толмачев А. С., Надежин М. И., Коноплев Ю. В.* Разработка алгоритмов планирования вычисления многомасштабных приложений на основе принципов совместного проектирования // *Актуальные научные исследования в современном мире.* 2020. № 11-2 (67). С. 54 – 64.

УДК 621.396.6:681.3

СИНХРОНИЗАЦИЯ ЧАСТОТНЫХ КАНАЛОВ В ЛОКАЛЬНЫХ РАДИОСЕТЯХ УЗКОПОЛОСНОЙ СВЯЗИ

В. В. Блашников, А. И. Прокопьев, М. В. Рыжов, М. С. Фролов

Военно-космическая академия им. А. Ф. Можайского

В настоящее время в локальных радиосетях применяется как широкополосная связь (UWB), построенная на технологии LoRa, так и узкополосная (UNB), лежащая в основе сетей СТРИЖ и Sigfox [1]. Преимуществом узкополосных сетей считается большее число каналов связи в отведенном диапазоне частот, однако при этом возникают и осложняющие факторы.

Для совпадения частотных каналов необходимо иметь высокостабильные задающие генераторы. Однако даже хорошие кварцевые резонаторы могут иметь погрешность 10 – 15 ppm в диапазоне температур $-40 - +85^{\circ}\text{C}$, что приведет к погрешностям в сотни герц. Поэтому возникает необходимость использовать специальные кварцевые генераторы с температурной компенсацией (ТСХО), снижающие погрешность до 0,5 ppm [2]. Но даже такая точность может оказаться недостаточной.

Дополнительную погрешность вносит доплеровский эффект. Если носители средств связи будут двигаться со скоростью более 10 км/ч относительно друг друга, то погрешность за счет этого эффекта также может стать значительной.

Цель настоящей работы состоит в том, чтобы ввести синхронизацию отсчета частот устройствами связи по сигналам спутниковых радионавигационных систем.

Во всех навигационных приемниках имеется выходной сигнал с периодом 1 с (1PPS), который может быть использован с поставленной целью [3]. Испытательная установка содержит модем S2-LP диапазона 868 МГц на плате X-NUCLEO-S2868A1, микроконтроллер STM32L152 на плате NUCLEO-64 и источник сигнала 1PPS. (рис. 1) Контроллер измеряет расхождения между 1PPS и частотой местного кварца, засылая в модем скомпенсированную частоту. Для генерации сигнала 1PPS сначала использовался микроконтроллер AVR ATmega32, что позволяло варьировать период сигнала в нужных пределах, отслеживать частоту генерируемых колебаний и обрабатывать алгоритм поиска и совмещения каналов связи.

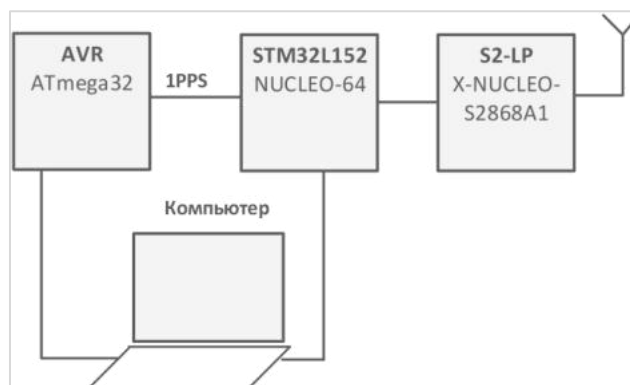


Рис. 1. Схема проверки реакции на изменение задающей частоты

На следующем этапе работы микроконтроллер AVR был заменен навигационным приемником, в качестве которого использовались Neoway G7, U-blox Neo-M8. На этом этапе проверялось установление связи при разных температурах передатчика и приемника в диапазоне $-30 - +60^{\circ}\text{C}$ (рис. 2).

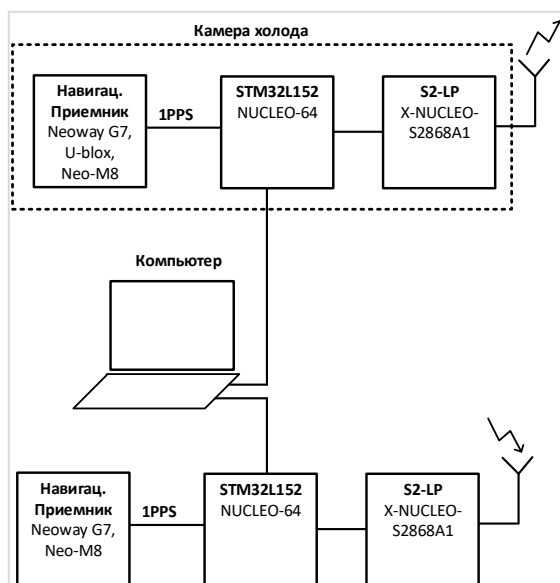


Рис. 2. Схема проверки связи с применением камеры холода

Примененный подход позволит надежнее удерживать канал узкополосной радиосвязи.

Библиографический список

1. Связь в интернете вещей: LoRa против UNB. Часть 1: физика // unwireddevices.com. [Электронный ресурс]. URL: <https://habr.com/ru/company/unwds/blog/396869/> (дата обращения: 22.03.2021).
2. Микушин А. В. Опорные кварцевые генераторы с температурной компенсацией ухода частоты TCXO. [Электронный ресурс]. URL: <https://digteh.ru/SxemSovrTKU/gen/tcxo/> (дата обращения: 22.03.2021).
3. uBlox NEO-7M: GPSDO или путь к GPSDO? [Электронный ресурс]. URL: <http://www.ra3apw.ru/proekty/ublox-neo-7m/> (дата обращения: 22.03.2021).

УДК 528.88, 519.816

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ДЛЯ ПРИНЯТИЯ СИТУАЦИОННЫХ РЕШЕНИЙ В БОРЬБЕ С ПРИРОДНЫМИ ПОЖАРАМИ

К. А. Бычков, В. А. Брысина, А. Ю. Захаров, О. А. Мишина

Балтийский государственный технический университет «Военмех» им. Д. Ф. Устинова

Весьма актуальными являются исследования по разработке эффективных методов тушения лесных пожаров и по внедрению в практику способов предотвращения их возникновения [1]. В последние годы в связи с изменением климата участились случаи лесных пожаров во многих странах. Потери от наиболее крупных лесных пожаров составили в 2020 году 6,3 млн.

гектаров в Австралии, в 2019 году 4,5 млн. гектаров в Сибири, 0,9 млн. гектаров на Амазонке, в 2018 году 0,8 млн гектаров в Калифорнии.

Помимо гибели лесов, лесные пожары приводят к существенному ухудшению экологической обстановки вследствие поступления в атмосферу из мест возникновения лесных и торфяных пожаров значительного количества загрязняющих примесей.

Борьба с лесными пожарами требует привлечения больших материальных затрат. Например, в Канаде на борьбу с лесными пожарами ежегодно тратится свыше \$70 млрд., а в США эта цифра в два раза больше [1].

Функциональные обязанности по борьбе с природными пожарами на территории Российской Федерации возложены на Федеральное агентство лесного хозяйства, находящееся в ведении Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации. К ним относятся мониторинг пожарной опасности в лесах, а также принятие решений о привлечении личного состава пожарных команд и о применении пожарной техники и оборудования. В том случае, если объем доступных сил и средств в регионе недостаточен для ликвидации очага возгорания, объявляется «режим ЧС», и к тушению природных пожаров привлекаются такие силы единой государственной системы по предупреждению и ликвидации чрезвычайных ситуаций (РСЧС) как войска гражданской обороны, поисково-спасательные службы МЧС России, соединения и воинские части Вооруженных Сил, предназначенные для ликвидации катастроф, противопожарные и аварийно-спасательные, формирования министерств, ведомств и различных организаций.

В 2005 году вступила в производственную эксплуатацию Информационная система дистанционного мониторинга ИСДМ-Рослесхоз, разработанная консорциумом учреждений РАН, Рослесхоза, Росгидромета, Института Космических Исследований РАН и других. Космический мониторинг лесных пожаров, проведение которого обеспечивает ИСДМ-Рослесхоз, является в настоящее время составной частью государственной программы инвентаризации лесов и, в соответствии с Постановлением Правительства РФ от 26 июня 2007 г. № 407 «О проведении государственной инвентаризации лесов», выполняется с целью выявления и учёта изменений состояния лесов, происходящих в результате негативных воздействий лесных пожаров.

ИСДМ-Рослесхоз также решает задачи по оперативному обеспечению информацией работ по организации мониторинга и тушения пожаров. Следует отметить, что создание ИСДМ-Рослесхоз еще в 2005 году, позволило фактически определить новые уровни мониторинга и охраны лесов. В зависимости от уровня интенсивности соответствующих мероприятий вся территория лесного фонда делится в настоящее время на следующие зоны мониторинга:

- наземного и авиационного мониторинга;
- космического мониторинга первого уровня;
- космического мониторинга второго уровня.

К зоне космического мониторинга второго уровня относятся территории, на которых плановое авиационное патрулирование не проводится. Обнаружение лесных пожаров производится преимущественно с использованием данных мониторинга лесных пожаров ИСДМ-Рослесхоз. Тушение лесных пожаров производится с применением авиации и авиапожарных команд.

К зоне космического мониторинга первого уровня относятся удаленные и труднодоступные территории, на которых авиапатрулирование не производится и не планируется, а тушение лесных пожаров выполняется только при наличии угрозы населённым пунктам или объектам экономики.

Следует отметить, что на этих территориях статистика о действующих пожарах и их последствиях формируется исключительно на основе спутниковых данных.

Для решения задач мониторинга лесных пожаров в ИСДМ-Рослесхоз используются в основном следующие спутниковые данные:

- данные, получаемые приборами AVHRR, установленными на спутниках серии NOAA. Эти данные используются в системе для детектирования подозрений на действующие пожары и построения различных изображений облачности;

- данные, получаемые приборами MODIS, установленными на спутниках TERRA и AQUA. Эти данные также используются в системе для детектирования подозрений на действующие пожары и построения различных изображений облачности, а также при оперативной оценке площадей, пройденных огнем на основе информации об активном горении;

- данные, получаемые прибором SPOT-VGT, который установлен на спутнике SPOT. Эти данные используются для оценки площадей, пройденных огнем, и поврежденных лесов на этих площадях на основе анализа состояния растительности до и после действия пожаров;

- данные прибора Ресурс ДК и LANSAT ETM+, установленных соответственно на спутниках РЕСУРС ДК и LANDSAT. Эти данные в основном используются для выборочного контроля площадей, пройденных огнем, и верификации автоматических алгоритмов выявления площадей, пройденных огнем, и оценки степени повреждений лесов.

Для работы с этой информацией в ИСДМ-Рослесхоз создана распределенная автоматизированная система сбора и обработки спутниковых данных, которая позволяет в настоящее время оперативно получать информацию практически по всей территории России [2].

Для получения информации о ветре в приземном слое атмосферы в районе возникновения лесного пожара могут быть использованы следующие дистанционные методы оценивания скорости ветра: радиолокационные, акустические, радиоакустические и лидарные. В настоящее время все большее распространение получают корреляционные лидары и когерентные доплеровские лидары [3].

Для повышения эффективности мер по разрешению чрезвычайных ситуаций (ЧС) в настоящее время все более широко применяется подход, основанный на принципах ситуационного управления.

Структурная схема ситуационного управления, осуществляемого гипотетическим региональным центром борьбы с лесными пожарами, приведена на рисунке 1.



Рис. 1. Структурная схема ситуационного управления

Источниками оперативной информации о возникновении лесных пожаров являются:

- авиаразведка;

- спутниковая съемка;
- наблюдение с пожарных вышек;
- наземная разведка.

Для структурирования информации предлагается ввести понятие матрицы (вектора) факторов процесса.

Известно, что на лесной пожар наибольшее влияние оказывают три условия: погода, вид топлива и рельеф местности. Исходя из этого, можно выделить следующие факторы процесса распространения пожара: локация пожара, масштаб, тип, скорость распространения, осадки, направление ветра, рельеф местности, естественные и искусственные преграды, наличие населенных пунктов и объектов инфраструктуры на возможном пути распространения пожара.

Проведем дискретизацию факторов:

- локация (С, Ю, З, В, СЗ, СВ, ЮЗ, ЮВ) $d_l, l = 1 \dots 8$;
- масштаб (малый 2-20 га, средний 20-200 га, крупный 200-2000 га, катастрофический более 2000 га) $M_m, m = 1 \dots 4$;
- тип (низовой, верховой, подземный) $tp_i, i = 1, 2, 3$;
- скорость распространения (км/ч) (5, 10, 20, 30, 40, 50), $V_n, n = 1 \dots 6$;
- осадки (мм/сутки) (5, 10, 15, 20) $So_j, j = 1 \dots 4$;
- направление ветра (С, Ю, З, В, СЗ, СВ, ЮЗ, ЮВ) $W_k, k = 1 \dots 8$;

Остальные факторы отнесем к ограничивающим.

При данном наборе параметров матрица факторов процесса распространения пожара имеет вид:

$$SN = F(tp_i, So_j, W_k, d_l, M_m, V_n).$$

Наиболее значимыми факторами в процессе тушения пожара являются:

- личный состав пожарной службы;
- комплекс средств пожаротушения;
- наличие водоемов в зоне пожара;
- дороги (удаленность от очага, типы дорог).

Проведем дискретизацию факторов:

- количественный и качественный состав пожарной команды (численность личного состава, количество подразделений, специализация и т.п.) $P_i, i = 1 \dots I$;
- обеспеченность авиационными средствами пожаротушения $Pl_j, j = 1 \dots J$;
- обеспеченность наземной пожарной техникой $tr_k, k = 1 \dots K$;
- обеспеченность водой $vo_l, l = 1 \dots L$;
- наземная транспортная доступность $Rd_m, m = 1 \dots M$.

При данном наборе параметров матрица факторов, влияющих на процесс тушения пожара

$$SP = F(P_i, Pl_j, tr_k, vo_l, Rd_m).$$

Оперативная информация о контролируемых и неконтролируемых факторах поступает в блок формализации ситуации, где с помощью комплекса моделей и экспертных оценок происходит подготовка к принятию ситуационного решения.

Эффективность выбора того или иного решения определяется некоторым критерием F , допускающим количественное представление. Все факторы, влияющие на эффективность выбора, разбиваются на две группы:

- 1) контролируемые (управляемые) факторы, X_1, X_2, \dots, X_1 ;
- 2) неконтролируемые (неуправляемые) факторы, которые характеризуют условия, в которых в настоящее время осуществляется выбор.

Неконтролируемые факторы делятся на три подгруппы:

- 1) детерминированные неконтролируемые факторы – неслучайные фиксированные величины, значения которых полностью известны, A_1, A_2, \dots, A_p ;
- 2) стохастические неконтролируемые факторы – случайные величины и процессы с известными законами распределения Y_1, Y_2, \dots, Y_q ;

3) неопределенные неконтролируемые факторы, для каждого из которых известна только область, внутри которой находится закон распределения, Z_1, Z_2, \dots, Z_r .

В соответствии с выделенными факторами критерий оптимальности можно представить в виде

$$F = F(X_1, X_2, \dots, X_l, A_1, A_2, \dots, A_p, Y_1, Y_2, \dots, Y_q, Z_1, Z_2, \dots, Z_r, t)$$

Величины X, A, Y, Z в общем случае могут быть скалярами, векторами, матрицами.

Значения контролируемых факторов обычно ограничены (располагаемые ресурсы). Математически эти ограничения записываются в виде

$$g_i = g_i(X_1, X_2, \dots, X_l, A_1, A_2, \dots, A_p, Y_1, Y_2, \dots, Y_q, Z_1, Z_2, \dots, Z_r, t) \{ \leq, =, \geq \}, \quad i = 1 \dots m.$$

Эти условия определяют области $\Omega X_1, \Omega X_2, \dots, \Omega X_l$ пространства, внутри которых расположены возможные (допустимые) значения факторов.

Критерий оптимальности F можно записать в виде $F \rightarrow \max$ (или \min).

Средством достижения этой цели является соответствующий выбор управлений X_1, X_2, \dots, X_l из областей $\Omega X_1, \Omega X_2, \dots, \Omega X_l$ их допустимых значений.

Таким образом, общая постановка задачи принятия решения может быть сформулирована следующим образом: при заданных значениях и характеристиках фиксированных неконтролируемых факторов $A_1, A_2, \dots, A_p, Y_1, Y_2, \dots, Y_q$ с учетом неопределенных факторов Z_1, Z_2, \dots, Z_r найти оптимальные значения $X_{1opt}, X_{2opt}, \dots, X_{lopt}$ из областей $\Omega X_1, \Omega X_2, \Omega X_l$ их допустимых значений, которые по возможности обращали бы в максимум (минимум) критерий оптимальности F .

Основой для использования математических методов при принятии решений в ЧС может служить «теория игр», методы «общей теории систем», «теория принятия решений».

В частности, «теория игр» предполагает изучение оптимальных стратегий в игре – процессе, при котором участники двух и более сторон используют свою стратегию и стремятся к выигрышу. Выигрыш или проигрыш зависит от поведения всех участников. При условии четких представлений о ресурсах, о возможных изменениях в поведении участников «теория игр» может помочь выбрать лучшие стратегии. Процесс возникновения и развития лесного пожара, а также процесс противодействия человека этому явлению можно представить в виде статистической матричной игры.

Статистической матричной игрой называют одношаговую игровую задачу, в которой одна из сторон может рассматриваться как нейтральная. Она выбирает свою стратегию произвольно или случайно, не преследуя цели получения наилучшего результата в данной игре. Поэтому для статистической матричной игры часто используют название «игра с природой», имея в виду, что целью решения игры является обоснование выбора оптимальной стратегии для стороны А (максимизирующей стороны), а сторона В играет роль нейтральной стороны – «природы» и обозначается буквой «П». Соответственно, стратегию стороны П называют состоянием природы [4].

Особенность игры с природой заключается в том, что природа не стремится извлечь выгоду из ошибочных действий человека и не противодействует ему.

Большой объем информации о развитии лесных пожаров, получаемый в результате ДЗЗ и от других источников необходимо структурировать и классифицировать. Структурирование информации посредством матрицы факторов, предложенной в статье, а также использование методов теории игр позволяет формализовать процесс принятия ситуационного решения.

Библиографический список

1. Доронин А. П., Белевич М. В., Никульшин Б. Ю., Кильчанский Е. Е., Понеделко И. А., Прохоренко П. А. Геофизические методы профилактики возникновения лесных пожаров и борьбы с ними // Межрегиональный научный семинар «Экология и космос», 8-9 февраля 2010 года. СПб: Изд. ВКА им. А.Ф. Можайского, 2010. С. 137 – 144.

2. Барталев С. А., Еришов Д. В., Коровин Г. Н., Котельников Р. В., Лупян Е. А., Щетинский В. Е. Информационная система дистанционного мониторинга лесных пожаров Федерального

агентства лесного хозяйства РФ (состояние и перспективы развития). [Электронный ресурс]. URL: <https://aviales.ru/files/documents/2010/05/57.pdf> (дата обращения 01.03.2021).

3. Ахметьянов В. Р., Васильев Д. Н., Коняев М. А., Мишина О. А., Пенкин М. С., Петров Г. А., Тезадов Я. А., Шаталов И. В., Ширяев И. Ф. Методы и алгоритмы обработки данных ветрового когерентного доплеровского лидарного профилометра с коническим сканированием // Журнал радиоэлектроники (Электронный). 2013. №10. С. 20.

4. Воробьева Е. Е., Емельянов В. Ю. Теория принятия решений: учебное пособие. Изд. 2-е, перераб. СПб: БГТУ «Военмех», 2018. 136 с.

УДК 681.78

БЛОК ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ ЧАСТОТНОЙ МОДУЛЯЦИИ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

М. Я. Владимирова, А. А. Ким

Балтийский государственный технический университет «Военмех» им. Д. Ф. Устинова

Модуляция лазерного излучения находит своё применение в областях оптоэлектроники, радиофотоники и радиолокации. Посредством частотной модуляции несущего сигнала возможно повысить эффективность работы систем по передаче и обработке информации, например, в системах дистанционного зондирования при помощи кодирования лазерных импульсов в процессе модуляции излучения, описываемого различными математическими функциями, мы можем повысить скорость получения и обработки данных об изучаемом объекте. Пример использования модуляции лазерного излучения в сфере дистанционного зондирования изложен в работе наших коллег, в которой описано устройство системы для верификации параметров радиолокационных устройств [1]. Введение модуляции зондирующего излучения, например, линейной частотной модуляции (ЛЧМ), позволяет добиться существенного улучшения характеристик, однако может усложнить процедуру их верификации [2]. Методики осуществления модуляции разнообразны, рассматриваемое направление находится в стадии активного изучения и модернизации. В данной статье предложена техническая реализация установки, предназначенной для параметрического управления частотой лазерного излучения, описана общая концепция работы устройства и обозначены выбранные методы осуществления трёх видов модуляции: амплитудной, частотной и фазовой.

Амплитудную модуляцию было решено реализовывать в лазерном модуле с встроенным электроабсорбционным модулятором (ЕАМ). Она происходит вследствие изменения напряженности электрического поля в активном слое ЕАМ, который примыкает к слою с брэгговской решёткой лазера с распределённой обратной связью (DFB) (рис. 1). Физическая основа данного метода истекает из эффекта Франца-Келдыша, который выражается в том, что в случае приложения к полупроводнику поперечного электрического поля уменьшается ширина его запрещённой зоны, т. е. при подаче напряжения прозрачный полупроводниковый слой поглощает свет [3]. Электрический ток, пропускаемый через конструкцию DFB лазера, порождает одномодовое узкополосное когерентное излучение, которое достаточно свободно проникает в широкий слой среды, прозрачность которой зависит от величины напряженности электрического поля в обратном смещённом или запертом р-п-переходе ЕАМ. Электрический ток через среду модулятора не протекает, а случайный ток от лазера DFB отсекается изолятором. Полоса частот модуляции определяется межэлектродной ёмкостью, собственной ёмкостью запертого р-п-перехода и сопротивлением цепи модулирующего сигнала [4].

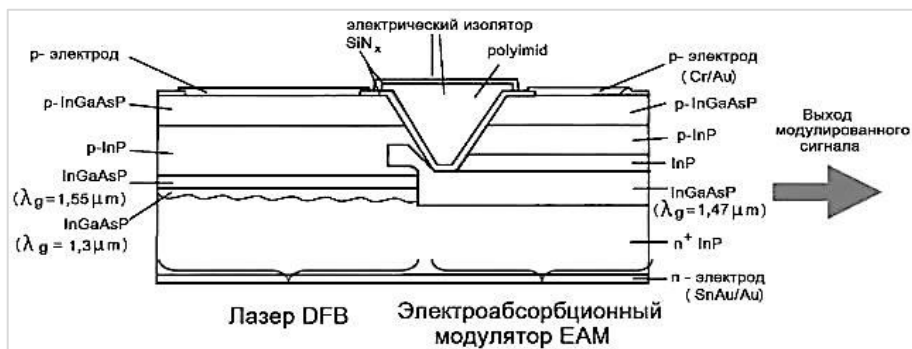


Рис. 1. Структура лазера с встроенным EAM модулятором [2]

Для осуществления модуляции частоты предполагается последовательно использовать два акустооптических модулятора (АОМ) с одинаковой центральной рабочей частотой. Акустооптический эффект включает в себя явления дифракции, преломления, отражения или рассеяния света на периодических неоднородностях среды, представленных в виде зон с различными показателями преломления, появление которых вызвано упругими деформациями при прохождении ультразвука. Возбуждение звуковой волны в кристалле производят с помощью пьезоэлектрической пластинки, прикреплённой к кристаллу. В результате эффекта Доплера при дифракции света на акустической волне возникает сдвиг частоты света на величину частоты звуковой волны $\nu_{зв}$: для излучения, падающего на акустооптическую ячейку в сторону распространения звука – $(\nu - \nu_{зв})$, в противоположном направлении – $(\nu + \nu_{зв})$ [5]. Два модулятора необходимы для того, чтобы комбинировать подаваемые частоты и иметь возможность менять частоту в необходимых пределах с относительно небольшими значениями вносимых потерь. Для используемых нами модуляторов T-M080-0.5C8J-3-F2S [6], имеющих центральную рабочую частоту, равную 80 МГц, по зависимости потерь на АОМ от частоты модулирующего сигнала (рис. 2) можно заключить, что при суммарных потерях, не превышающих 21 дБ, можно изменять частоту несущего сигнала в пределах ± 20 МГц.

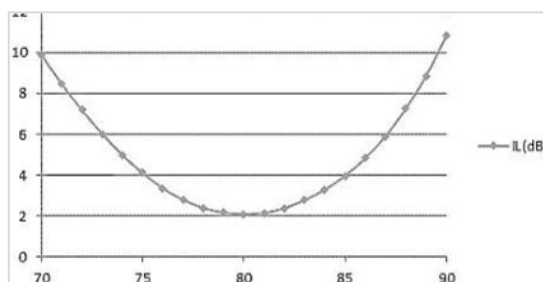


Рис. 2. График зависимости вносимых потерь от частоты модулирующего сигнала для АОМ с центральной частотой 80 МГц

Посредством применения фазового электрооптического модулятора (ЕОМ) получаем излучение, модулированное по фазе. Переменное напряжение $V(t)$ подается вдоль оси z нелинейного кристалла (например, LiNbO_3), благодаря чему вдоль оси происходит изменение показателя преломления, пропорциональное $V(t)$ (рис. 3). Для получения фазового сдвига используется поляризованный параллельно оси Z пучок излучения. Зависимость фазового сдвига от времени является результатом изменения во времени оптической длины пути излучения

в кристалле, что пропорционально $V(t)$ [7]. Полуволновым напряжением V_{π} называется напряжение, необходимое для поворота фазы выходного излучения на π радиан.

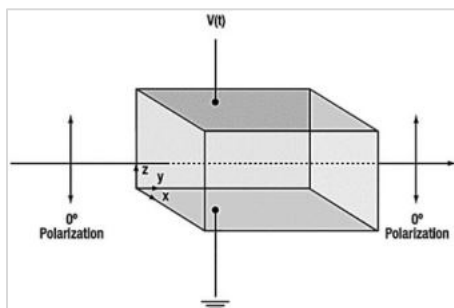


Рис. 3. Фазовая модуляция [4]

Функциональная схема разработанного устройства представлена на рисунке 4. Условно его можно разделить на два блока – электронный и волоконно-оптический. Блок питания подаёт соответствующие напряжения на плату управления и питания, которая взаимодействует с компонентами из волоконно-оптического блока (рис. 4), промежуточным звеном между ней и лазерным модулем выступает плата-драйвер EML лазера. Пользователь задаёт величину подаваемого с внешнего источника управляющего напряжения на каждый из модуляторов, АОМы управляются посредством драйверов. Оптический сигнал от лазерного модуля по оптоволокну проходит путь через три модулятора и волоконно-оптический усилитель, а потом выводится через оптический выходной порт, расположенный на лицевой части корпуса.

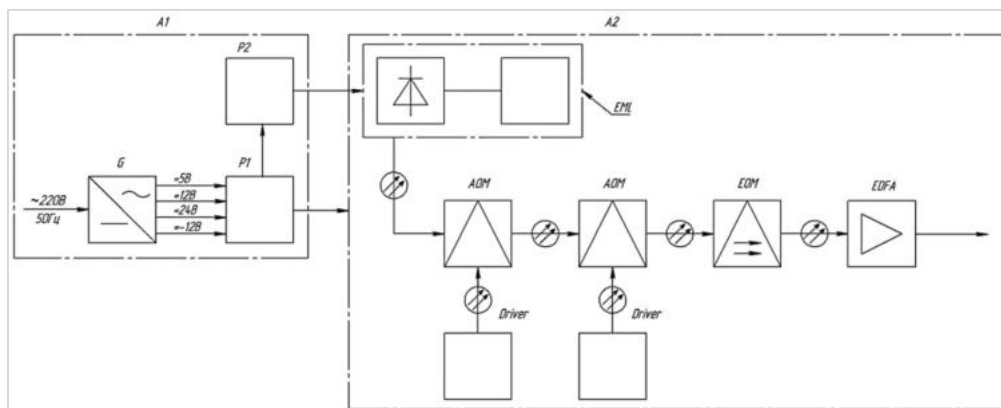


Рис. 4. Функциональная комбинированная схема блока параметрической частотной модуляции:
 A1 – блок электронный: G – блок питания RQ-125, P1 – плата управления и питания, P2 – плата-драйвер EML лазера;
 A2 – блок волоконно-оптический: EML – лазерный EML модуль E2560-Turc,
 АОМ – акустооптический модулятор T-M080-0.5C8J-3-F2S, Driver – драйвер акустооптического модулятора A35-080-S-1/50-p4k7u, EOM – фазовый электрооптический модулятор MPZ-LN-10 – 1550 нм, EDFA – волоконно-оптический усилитель CEFA-CHG50

За основу блока взят монтируемый в стойку 19-ти дюймовый корпус высотой 2U. В нём предусмотрены отверстия под установку органов управления, индикаторов и различных разъемов. Для размещения всех конструктивных элементов корпус делится на два яруса посредством монтажной панели, которая крепится на специальные внутренние выступы. На нижнем уровне (рис. 5) располагаются: блок питания из серии RQ-125 [8], усилитель, разъём под сете-

вой шнур, совмещённый с фильтром радиочастотных помех, и система охлаждения, представленная в виде трёх вентиляторов и трёх радиаторов, прикреплённых к промежуточному основанию. На верхнем уровне (рис. 6) находятся: все необходимые модуляторы, драйверы АОМ, плата-драйвер EML-лазера, плата управления и питания, сплайс-кассета для размещения оптоволокна, стыковочный кронштейн под коннекторы.

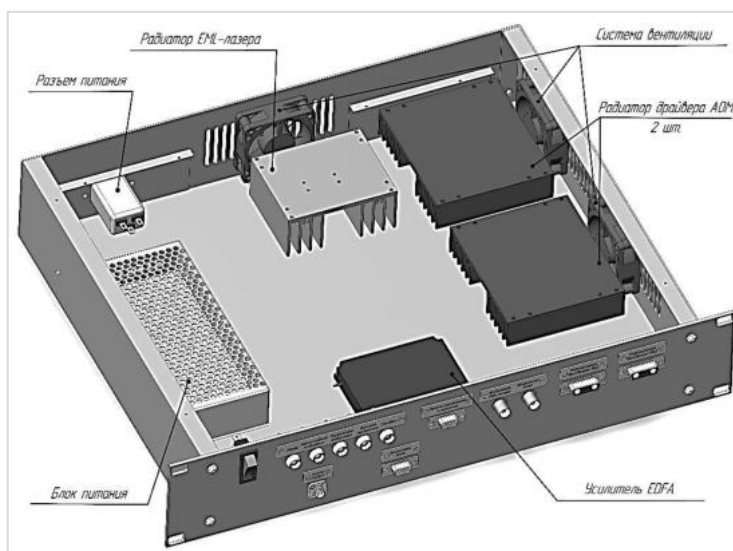


Рис. 5. Нижний ярус разработанного блока параметрической частотной модуляции

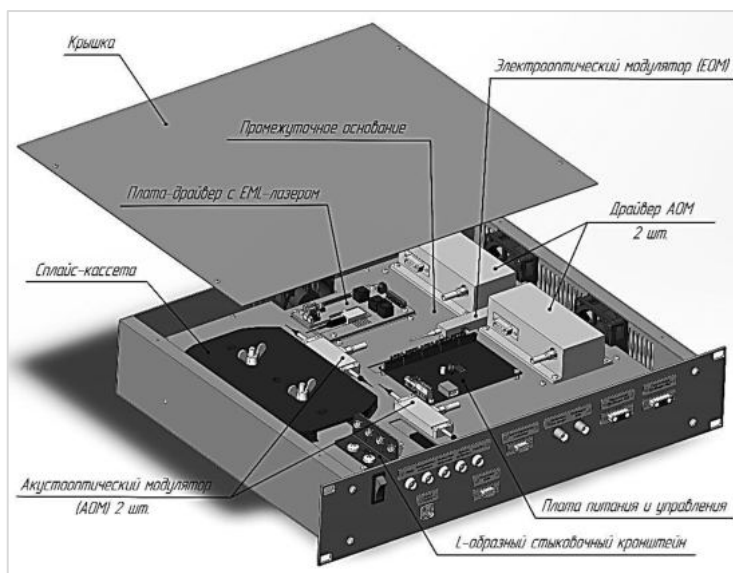


Рис. 6. Верхний ярус блока параметрической частотной модуляции

Расчёт мощности оптического сигнала на выходе установки показал, что её значения колеблются в диапазоне от 0,407 до 0,002 мВт (в случае частотной модуляции на ± 20 МГц) или

до 0,032 мВт (в случае частотной модуляции на ± 10 МГц), при том что максимальная мощность задействованного лазера составляет 10 мВт, однако, здесь не учтён волоконно-оптический усилитель, благодаря ему значение выходной мощности может быть увеличено до 100 мВт. Амплитудную модуляцию в лазерном EML модуле E2560 [9] можно производить в полосе частот, равной 11 ГГц, максимальное изменение амплитуды – 11 дБ.

Модуляцию частоты целесообразно совершать в пределах ± 10 МГц, при этом максимальные суммарные потери на двух АОМ составляют 8,1 дБ. Пример графической зависимости мощности на выходе второго АОМ от значения суммарного частотного сдвига приведён на рис. 7.

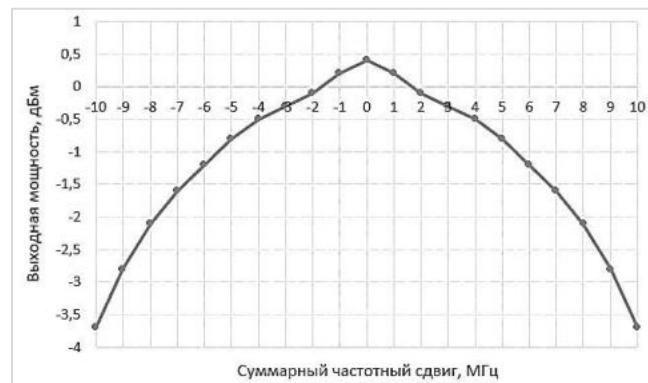


Рис. 7. Зависимость мощности [дБм] от величины суммарного частотного сдвига (при выводной мощности лазерного модуля 3,2 мВт) для модуляции ± 10 МГц

Модуляцию фазы можно осуществлять посредством синусоидального (рис. 8) и треугольного (рис. 9) сигналов, соответствующие пределы модуляции: $\pm 44,88$ ГГц и $\pm 29,22$ ГГц. Меняя напряжение, а, следовательно, и фазу, по квадратичному закону, можно получить линейную частотную модуляцию (рис. 10) в пределах 14,28 ГГц (когда времена импульса составляет 1 нс; при увеличении длительности импульса уменьшается значение частотного сдвига).

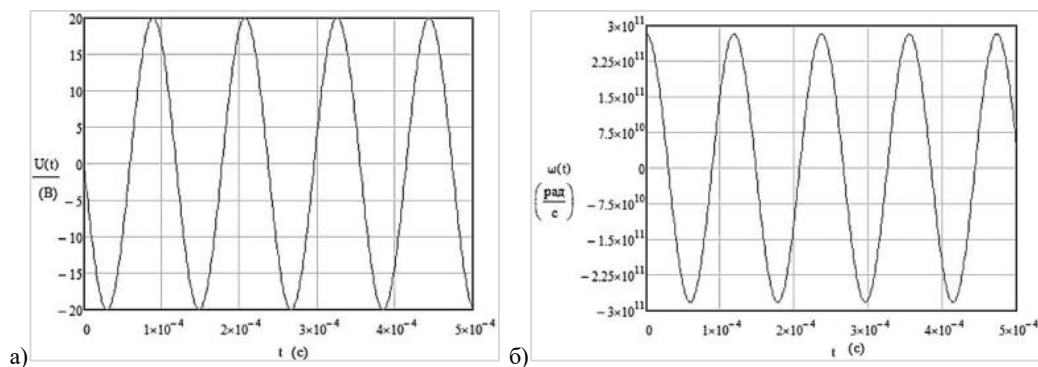


Рис. 8. Синусоидальный модулирующий сигнал (а) и соответствующая зависимость частотного сдвига от времени (б)

В ходе работы был разработан блок параметрической частотной модуляции лазерного излучения, а именно: предложена функциональная схема устройства, подобраны все необходимые компоненты, произведён расчёт выходной оптической мощности, предложена компоновка проектируемого устройства, определены форма и характеристики модулирующих электрических сигналов, произведена оценка пределов модуляции.

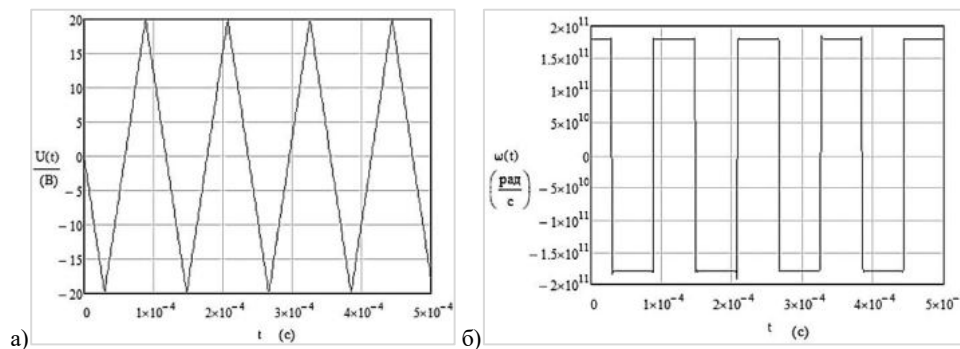


Рис. 9. Треугольный модулирующий сигнал (а) и соответствующая зависимость частотного сдвига от времени (б)

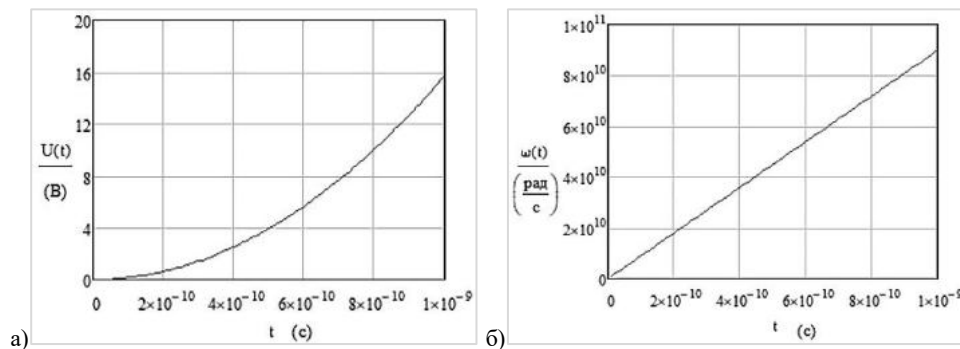


Рис. 10. Зависимость напряжения модулирующего сигнала от времени и зависимость частотного сдвига от времени (при времени импульса $t_{\text{и}} = 1\text{нс}$)

Библиографический список

1. Далбаева Н. И., Ибрагимова Я. Г., Ким А. А., Терешенкова О. А. Радиофотонная система для верификации параметров радиолокационных устройств с использованием волоконно-оптических линий задержки // Решетневские чтения: материалы XXIV Международной научно-практической конференции, посвященной памяти генерального конструктора ракетно-космических систем академика М.Ф. Решетнева. В 2 ч.. под общ. ред. Ю. Ю. Логинова. Красноярск: 2020. С. 212 – 213.
2. Ибрагимова Я. Г., Терешенкова О. А., Ким А. А., Лугиня В. С. Методы и средства верификации параметров радиочастотных локаторов // Радиопромышленность. 2020. Т. 30. № 2. С. 8 – 17.
3. Фриман Р. Волоконно-оптические системы связи // перевод с англ. технической литературы под ред. Н. Н. Слепова. М.: Техносфера, 2003. 115 с.
4. Фокин В. Г. Когерентные оптические сети: учебное пособие. Новосибирск: Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики; каф. многоканальной электросвязи и оптических систем, 2015. С. 137 – 138.
5. Оптические дефлекторы: учебные материалы на сайте Банк лекций. [Электронный ресурс]. URL: <https://siblec.ru/telekommunikatsii/vvedenie-v-optoelektroniku/3-opticheskaya-obrabotka-informatsii/3-2-opticheskie-deflektory> (дата обращения: 15.01.2021).
6. Акустооптические модуляторы с оптоволоконном: официальный сайт компании «Специальные системы фотоника». [Электронный ресурс]. URL: <https://sphotronics.ru/catalog/sm-aom/> (дата обращения: 11.01.2021).

7. Пространственные электрооптические модуляторы: лабораторные заметки – научная статья, публикация от 09.10.2019. [Электронный ресурс]. URL: https://in-science.ru/library/article_post/prostranstvennye-elektroopticheskie-modulyatory-laboratornyye-zametki (дата обращения: 16.01.2021).

8. Chipdip – каталог электронных компонентов. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.chipdip.ru/> (дата обращения: 11.01.2021).

9. ChipFind – архив документации на электронные компоненты. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.allcomponents.ru/> (дата обращения: 9.01.2021).

УДК 621.383

ПРОВЕДЕНИЕ ОЦЕНОК ПАРАМЕТРОВ ФОТОПРИЕМНИКА ДЛЯ ПРИЕМНОГО КАНАЛА ИМПУЛЬСНОГО ЛАЗЕРНОГО ДАЛЬНОМЕРА

Е. А. Горбуленко, Ф. М. Пелевин

Балтийский государственный технический университет «Военмех» им. Д. Ф. Устинова

Определение минимальной регистрируемой энергии излучения является одним из наиболее важных этапов оценки энергетических параметров лазерных дальномеров.

В качестве фотоприемника для приемного канала лазерного дальномера выбран лавинный фотодиод (ЛФД). Лавинные фотодиоды по сравнению с р-і-n фотодиодами имеют высокое быстродействие и чувствительность, благодаря использованию внутреннего механизма усиления сигнала, основанного на лавинном электронном умножении в дополнительном р-слое (рис. 1) [1].

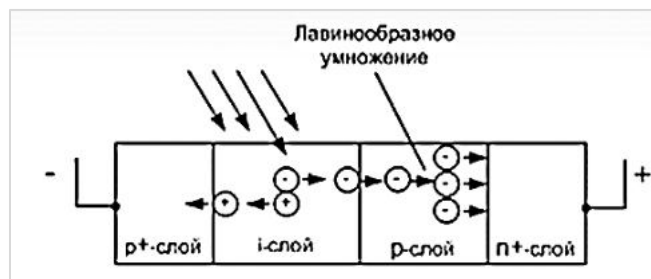


Рис. 1. Структура лавинного фотодиода

Лавинные фотодиоды характеризуются большим темновым током, чем р-і-n фотодиоды, а следовательно, и более низкой чувствительностью, даже если реализовано достаточно высокое усиление тока, позволяющее при низких уровнях сигнала превзойти тепловой шум. Кроме того, следует помнить, что процесс умножения вносит избыточный шум. Однако ЛФД имеет более высокую квантовую эффективность. Как правило, не все поглощенные кванты света приводят к появлению электроно-дырочной пары. Этот факт необходимо учитывать коэффициентом, характеризующим эффективность преобразования фотонов в электрический ток, или так называемой квантовой эффективностью, или квантовым выходом, фотоприемника.

Квантовой эффективностью фотодиода называется отношение числа рождающихся в секунду электронов к числу фотонов, падающих на фотоприемное устройство (ФПУ) [2]:

$$\eta = \frac{N_{\text{электронов}}}{N_{\text{фотонов}}} = \frac{I_{\text{ф}} \cdot h \cdot \nu}{e \cdot P}, \quad (1)$$

где I_ϕ – фототок; $h = 6,626 \cdot 10^{-34}$ Дж·с – постоянная Планка; ν – частота излучения; $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл – заряд электрона; P – мощность принимаемого (полезного) излучения, падающего на фоточувствительную площадку ЛФД.

Полоса пропускания приемного тракта Δf зависит от длительности лазерного импульса τ_n и вычисляется по формуле (2):

$$\Delta f = \frac{1}{\tau_n} \quad (2)$$

Тогда согласованное сопротивление нагрузки ЛФД (R) вычисляется из выражения для полосы пропускания фотодиода [3]:

$$R = \frac{1}{2\pi \cdot C \cdot \Delta f}, \quad (3)$$

где C – емкость фотодиода.

Вторая производная корреляционной функции шума в нулевой точке, характеризующая второй центральный момент спектральной плотности шума определяется как [4]:

$$-\rho''(0) = 2 \cdot \alpha = 2 \cdot \pi / \tau_n^2 \quad (4)$$

Считая, что на выходе ФПУ шум нормализовался, используя теорию выбросов случайных процессов, получим среднее число пересечений порогового уровня H с положительной производной в виде [5]:

$$N(H) = \frac{T_n}{2\pi} \sqrt{-\rho''(0)} \exp\left(\frac{-H^2}{2\sigma^2}\right) \quad (5)$$

где T_n – время наблюдения, σ^2 – дисперсия помехи. При выборе $N(H)$ много меньше единицы можно с достаточной точностью считать, что среднее число пересечений уровня за время работы, равно вероятности ошибочного измерения (ложной тревоги). Тогда $P_{лт} \approx N(H)$. В приемной части дальномера должна быть реализована схема типа «следящий порог». Для этого на выходе ФПУ включается диод, отсекающий напряжение отрицательной полярности. В этом случае напряжение на выходе ФНЧ по методу средневывпрямленного значения составляет $U \approx 0.4\sigma$ [6]. Величина нормированного порога определяется в виде [5], [7]:

$$\mu_0 = \frac{H}{\sigma} = 2 \ln\left(\frac{\sqrt{-\rho''(0)} \cdot T_n}{2 \cdot \pi \cdot P_{лт}}\right) \quad (6)$$

где H – абсолютная величина порога, вероятность ложной тревоги $P_{лт} \approx N(H)$.

Считая, что фильтр после фотоприемника согласован с сигналом отношение сигнал/помеха:

$$q = \sqrt{\frac{2 \cdot E}{N}} \quad (7)$$

где E – энергия сигнала, $N = \sigma^2 / \Delta f_s$ – спектральная плотность шума.

Вероятность правильного обнаружения:

$$P_{об} = 0,5 + \Phi(q - \mu_0) \quad (8)$$

где:

$$\Phi(x) = \frac{1}{\sqrt{2 \cdot \pi}} \int_0^x e^{-\frac{t^2}{2}} dt \quad (9)$$

Предположим, фоновая засветка отсутствует. В этом случае шум на выходе ЛФД при отсутствии сигнала и фоновой засветки создается только тепловым шумом сопротивления нагрузки и темновым током фотодиода. Дисперсия теплового шума сопротивления нагрузки:

$$\sigma_R^2 = 4 \cdot k \cdot T \cdot \Delta f \cdot R [\text{B}^2], \quad (10)$$

где $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ – константа Больцмана; T – абсолютная температура.

Дисперсия шума темнового тока:

$$\sigma_T^2 = 2 \cdot e \cdot I_T \cdot M^2 \cdot F(M) \cdot \Delta f \cdot R^2 [\text{B}^2], \quad (11)$$

где I_T – среднее значение темнового тока, M – коэффициент умножения, $F(M) = M^x$ – шум-фактор, для кремниевого ЛФД $x = 0,3 \dots 0,5$.

Тогда суммарная дисперсия теплового шума сопротивления и дисперсия шума за счет темнового тока:

$$\sigma^2 = \sigma_T^2 + \sigma_R^2 [\text{B}^2]. \quad (12)$$

Эта дисперсия определяет величину порога, который выбирается исходя из задаваемой вероятности ложной тревоги. Однако при работе ЛФД следует учесть, что при приеме сигнала к дисперсии шума добавляется дробовый шум. Дисперсия дробового шума:

$$\sigma_f^2 = 2 \cdot e \cdot I_T \cdot M^2 \cdot F(M) \cdot \Delta f \cdot R^2 = 2 \cdot e \cdot P_c \cdot S_\lambda \cdot M^2 \cdot F(M) \cdot \Delta f \cdot R^2 [\text{В}^2], \quad (13)$$

где P_c – мощность сигнала [Вт], S_λ – спектральная чувствительность [А/Вт].

В ходе работы была произведена первичная оценка параметров ЛФД с учетом дисперсии теплового шума и дисперсии шума темнового тока и приведена математическая модель для расчета отношения сигнал/шум при заданной вероятности обнаружения.

Библиографический список

1. Пихтин А. Н. Оптическая и квантовая электроника: учебник для ВУЗов. М.: Высшая школа, 2001. 522 с.
2. Астайкин А. И., Смирнов М. К. Основы оптоэлектроники: учебное пособие. М.: Высшая школа, 2007. 277 с.
3. Богомолов П. А., Сидоров В. И., Усольцев И. Ф. Приемные устройства ИК-систем. М.: Радио и связь, 1987. 208 с.
4. Тихонов В. И., Хименко В. И. Выбросы траекторий случайных процессов. М.: Наука, 1982. 304 с.
5. Лебедько Е. Г. Системы оптической локации. СПб: НИУ ИТМО, 2012. 129 с.
6. Борейшо А. С., Ивакин С. В. Лазеры: устройство и действие: Учебное пособие. СПб: Лань, 2016. 304 с.
7. Головков В. А., Потапова Н. И., Руденко П. Н., Страдов Б. Г., Телятников С. В. Приемное устройство прецизионного импульсного лазерного дальномера // Известия высших учебных заведений России. Радиоэлектроника. 2020. №23(2) С. 73 – 81.

УДК 004.415.2

ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЕРОЯТНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СИГНАЛОВ

К. К. Горелов, Д. С. Белов

Введение. Данная работа посвящена разработке программного комплекса в программной среде LabVIEW для исследования вероятностных характеристик квазидетерминированных сигналов.

Как известно основной задачей лабораторных работ является закрепление теоретического материала, полученного на лекциях. Обычно это происходит путем проведения практических исследований с применением специальной аппаратуры. И именно на лабораторных работах обучающиеся приобретают навыки работы с измерительными приборами и аппаратурой. Однако стремительное внедрение ПЭВМ в учебный процесс привело к тому, что количество занятий с приборами резко сократилось и многие исследования теперь проводятся на цифровых и математических моделях, что отрицательно сказывается на способности будущих офицеров выполнить поставленную задачу с реальной техникой в руках.

Именно для решения этой проблемы мы и решили разработать данный программный комплекс. В процессе разработки преследовались несколько целей:

- 1) закрепление теоретических знаний, полученных на лекциях
- 2) замена вышедшей из строя и устаревшей учебно-материальной базы

3) привитие навыков работы на реальных измерительных приборах и генераторах.

Разработанный комплекс может быть использован в учебном процессе при изучении дисциплин «Статистическая радиотехника», «Радиоинформатика», «Радиотехнические цепи и сигналы».

Разработка программного комплекса. Для проведения практического эксперимента на лабораторной работе требуется оборудование, закупка которого связана с большими финансовыми тратами. Кроме того, лабораторная установка, это весьма тонкий инструмент, предназначенный для конкретной темы занятия, после освоения которой, приборы оставшуюся часть времени (зачастую большую) простаивают невостребованными. К этому факту добавляется еще один фактор – старение приборов. Буквально каждый год производители электронного оборудования выпускают новые модели. Тем самым установка, купленная 5...10 лет назад, устаревает морально, хотя ресурс приборов остается не выработанный еще долгое время.

Внедрение ПЭВМ существенно снизило нагрузку на штат лабораторий и теперь многие процессы можно исследовать на их цифровых моделях. Обилие взглядов на решение возникшей задачи с помощью моделей приводит к тому, что интерфейс установки разрабатывается без учета имеющихся в эксплуатации приборов. Шрифты, графики, окна, ручки регулировок могут быть расположены в любом месте экрана и тот же генератор обычно представляет из себя обычное диалоговое окно, где текстом прописываются параметры сигнала, а некоторые изменения могут вноситься непосредственно в текст программы. В итоге, освоив ПЭВМ и элементы программирования, будущий специалист не умеет работать с генератором или осциллографом.

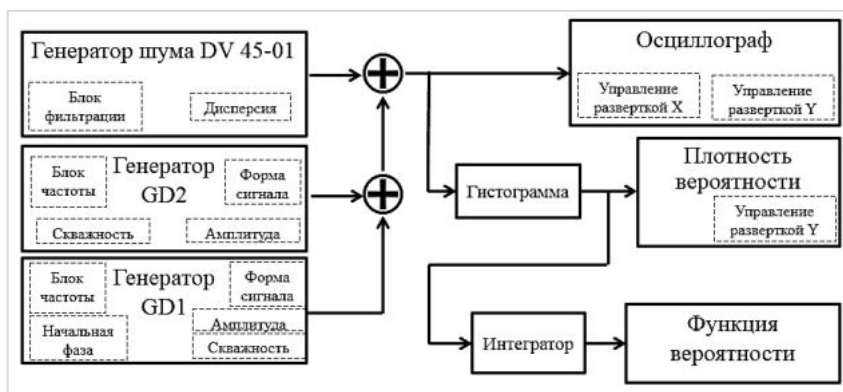


Рис. 1. Структурная схема программного комплекса

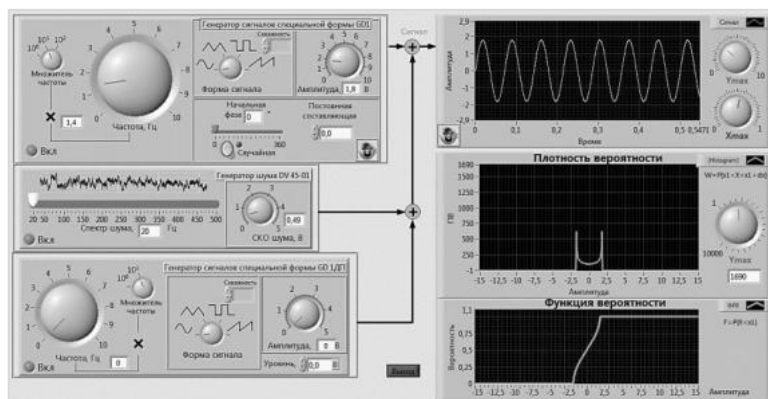


Рис. 2. Интерфейс программного комплекса (внешний вид)

Таким образом, для устранения этих недостатков было принято решение синтезировать лабораторную работу (программный комплекс) с учетом внешнего вида и интерфейса существующих измерительных приборов. Исходя из опыта проведения данных занятий и имеющейся в нашем распоряжении техники комплекс был смонтирован по приведенной на рис. 1 структурной схеме. В ее состав включены 3 генератора, сумматоры, приборы отображающие форму суммарного сигнала, его плотность вероятности и функцию вероятности. Интерфейс программного комплекса показан на рис. 2.

В левой части экрана расположены три генератора:

- генератор сигналов специальной формы GD1;
- генератор шума DV 45-01;
- генератор сигналов специальной формы GD1ДП.

В правой части интерфейса три монитора, на которых воспроизводится сам сигнал, плотность вероятности распределения его амплитуды и соответствующая ей функция вероятности.

Генератор сигналов специальной формы GD1. Генератор сигналов специальной формы GD1 позволяет получать 4 типа периодических колебаний: синусоидальный, треугольный, прямоугольный, пилообразный. Частота колебаний выбирается поворотной ручкой «Частота, Гц» и «Множитель частоты». Форма сигнала выбирается исходя из задания на работу соответствующим переключателем. Амплитуда сигнала регулируется поворотным регулятором. В нижней части прибора расположены ручки выбора начальной фазы сигнала и постоянной составляющей. Включение прибора осуществляется кнопкой в левом нижнем углу. Интерфейс генератора и его структурная схема представлены на рис. 3 и 4 соответственно.



Рис. 3. Передняя панель генератора сигналов GD1

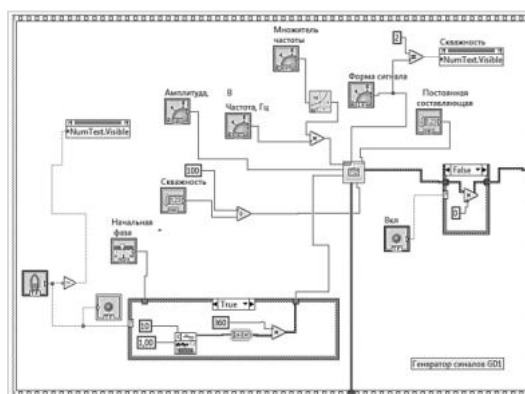


Рис. 4. Структурная схема генератора сигналов GD1

Генератор шума DV 45-01. Генератор шума DV 45-01 выдает на выходе шумовой сигнал с гауссовким распределением значений шума. Ширина спектра гауссовского шума регулируется

ется горизонтальным регулятором «Спектр шума» и может составлять величину от 20 до 500 Гц. Среднеквадратическое отклонение шума выбирается поворотным регулятором. Интерфейс генератора представлен на рис. 5.

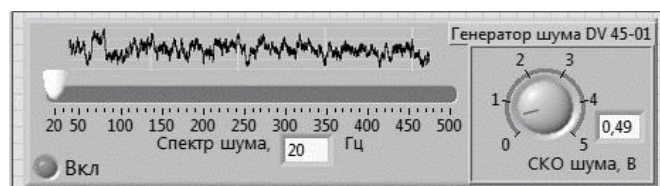


Рис. 5. Передняя панель генератора шума DV 45-01

Прообразами интерфейса виртуальных генераторов стали реальные приборы, это генератор сигналов Г6-27 и генератор шума Г2-59 (рис. 6). Данные приборы зарекомендовали себя долгой и надежной работой, однако морально устарели. В то же время они имеют понятное и интуитивное управление, что позволяет легко их осваивать и новичкам, и профессионалам.



Рис. 6. Генератор сигналов Г6-27 и генератор шума Г2-59

Средства отображения. Сигналы с генераторов проходят через сумматоры и поступают параллельно на осциллограф и приборы для исследования плотности вероятности и функции вероятности. Интерфейс осциллографа показан на рисунке 7.

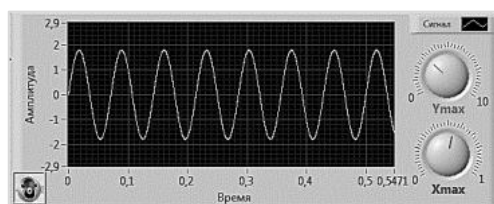


Рис. 7. Интерфейс осциллографа

На ручки управления осциллографа и мониторов ПВ, ФРВ вынесен минимальный объем настроек:

- развертка по осям X и Y (у осциллографа),
- развертка по оси Y (у ПВ). (Ось X искусственно зафиксирована в пределах 15 вольт),
- функция вероятности разверток не требует.

Аналогичное управление можно встретить практически на всех реальных осциллографах начиная с самых ранних аналоговых моделей и заканчивая современными цифровыми осциллографами с памятью. Интерфейс приборов для отображения плотности вероятности и функции вероятности приведен на рис. 8. На рис. 9 представлена структурная схема совокупности средств отображения информации.



Рис. 8. Прибор для отображение плотности вероятности и функции вероятности

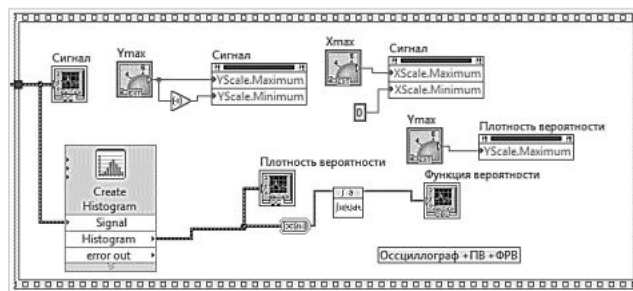


Рис. 9. Структурная схема совокупности средств отображения информации

Программа работы включает проведение исследований по четырем основным вопросам:

1. исследование вероятностных характеристик синусоидального сигнала.
2. исследование вероятностных характеристик меандра
3. исследование вероятностных характеристик шума
4. исследование вероятностных характеристик смеси сигнал-шум.

По окончании работы обучающиеся делают выводы по каждому пункту исследований и готовят индивидуальные отчеты. Защита работы сопровождается ответами на контрольные вопросы по данной теме. При наличии резерва времени и в зависимости от уровня подготовки учебной группы, дополнительно в работу могут включаться пункты исследования вероятностных характеристик последовательности прямоугольных импульсов со скважностью не равной двум, последовательности треугольных и/или пилообразных импульсов, а также смеси этих сигналов с шумом. Использование генератора GD1ДП позволяет проводить дополнительные исследования смешивая с шумом два сигнала, формировать у обучающихся исследовательский интерес и творческое мышление, стимулировать их любознательность наводящими вопросами.

Заключение. Таким образом, наработанная годами методика преподавания ЛР с использованием реальных приборов выходит на новый интерактивный уровень. Сохраняется стиль подачи материала, увеличивается наглядность, повышается надежность, а количество расчетов определяется только количеством ПЭВМ в аудитории.

Огромным преимуществом разработанной программы является то, что на экране монитора обучающийся видит не просто интерфейс программного обеспечения с крестиками и кнопками, а точную имитацию лицевой панели приборов. Точность воспроизведения реальных приборов может быть фотографической, тем самым, обучающийся приобретает и знания в рамках изучаемой дисциплины и навыки работы на измерительной технике.

Научный руководитель – Д. В. Губанов.

Библиографический список

1. *Вертягин А. А.* Теория обработки сигналов и автоматического управления в радиоэлектронных системах. МО Л: 1992. 718 с.
2. *Джеффри Тревис.* Lab VIEW для всех / Пер. с англ. Клушин Н. А. ДМК Пресс; ПриборКомплект, 2005. 544 с.

УДК 53.087.44

СИСТЕМА РЕГИСТРАЦИИ ДЕФОРМАЦИЙ КАК МЕДЛЕННЫХ ПЕРИОДИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ

А. А. Ким^{1,2}, А. А. Моторин^{1,2}

¹*Балтийский государственный технический университет «Военмех» им. Д. Ф. Устинова*
²*АО «Лазерные системы»*

Задача обнаружения и оценки медленных деформаций и низкочастотных механических колебаний распределенных объектов: поверхностей, протяженных линий, имеет достаточно широкий спектр применений и не теряет своей актуальности. Системы обнаружения деформаций и оценки частоты механических колебаний могут применяться в некоторых областях промышленности, медицине, космонавтике (например, для определения собственных частот колебания раскрываемых антенн или обнаружения деформаций их поверхности). Одним из методов решения подобных задач может быть лазерная спекл-интерферометрия на основе многомодового оптического волокна, выполняющего роль распределенного сенсора.

В основе эффекта лежит явление изменения характеристик распространения различных волноводных мод в направляющей среде волновода, подвергающегося различным воздействиям. Фаза излучения, распространяющегося в волокне, зависит от множества факторов, таких как давление, форма волокна, толщина сердцевины и изменение этих показателей приводит к изменению фазы излучения (рис. 1) [1].



Рис. 1. Схема изменения фазы излучения в оптическом волокне при внешнем воздействии

Также фаза излучения зависит от температуры, что может быть использовано для определения изменения состояния поверхности. Изменение фазы оптического излучения при проходе его через одномодовое волокно с длиной L_0 может быть выражено как:

$$\varphi = \frac{2\pi n}{\lambda_0} L_0 = \beta L_0 \quad (1)$$

где λ_0 – длина волны в вакууме, n – показатель преломления сердцевины волокна, β – коэффициент волноводного распространения. Аналогичные сдвиги фаз характерны для любой моды, если волновод работает в многомодовом режиме.

Влияние внешнего воздействия на волокно приводит к возникновению в соответствующем месте давления P , что приводит к изменениям длины волокна, показателя преломления сердцевины волокна и диаметра сердцевины под влиянием эффектов деформации, фотоупругости и эффекта Пуассона. Изменение фазы при этом может быть выражено как:

$$\Delta\varphi = \beta\Delta L_0 + L_0\Delta\beta = \beta L_0 \frac{\Delta L_0}{L_0} + L_0 \frac{\partial\beta}{\partial n} \Delta n + L_0 \frac{\partial\beta}{\partial D} \Delta D \quad (2)$$

где Δn – изменение коэффициента преломления волокна в т.ч. для некоторой моды N , D – диаметр сердцевины волокна, $\Delta\varphi$ – изменение фазы излучения вызванное изменением коэффициента волноводного распространения $\Delta\beta$ для некоторой моды N и изменением длины волокна ΔL_0 .

Также изменение фазы изучения можно выразить как:

$$\Delta\varphi = \beta\Delta P/E (1 - 2\mu)[1/2 n^2(P_1 + 2P_2) - 1] \quad (3)$$

где E – модуль Юнга, μ – коэффициент Пуассона, P_1 и P_2 связаны с P .

Это уравнение показывает, что изменение фазы пропорционально внешнему давлению P при условии, что другие параметры остаются неизменными. Следовательно, модуляционный эффект внешнего давления может быть зарегистрирован путем детектирования изменения фазы оптической волны [2].

Таким образом, при возникновении деформаций или колебаний будет изменяться фаза каждой моды, распространяющегося в волокне, что приведет к изменению результирующей интерференционной картины, а при возникновении периодических колебаний интерференционная картина будет изменяться так же периодически, что по форме полученного сигнала будет близко к синусоиде.

Также стоит учесть, что такая система должна быть достаточно чувствительной для возможности детектирования изменений, однако слишком высокая чувствительность может привести к обнаружению всех незначительных колебаний, что будет вносить свои помехи.

Для решения данной задачи было разработано три возможные схемы оптоволоконных датчиков (рис. 2).

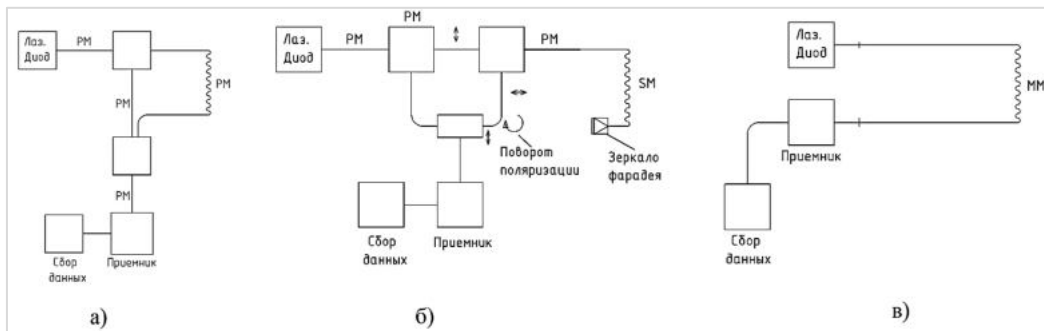


Рис. 2. Схемы конструкций оптоволоконного датчика (SM – одномодовое волокно, MM – многомодовое волокно, PM – волокно с сохранением поляризации)

Первые две конструкции основаны на волоконной интерференции с использованием в качестве чувствительного элемента волокон с сохранением поляризации излучения; третья – на основе спекл-интерферометрии, где в качестве чувствительного элемента используется волокно, поддерживающее распространение множества мод.

В первой конструкции (рис. 2а) излучение с источника поступает в волокно, которое разделяется на две трассы: чувствительный элемент и опорное плечо. После излучение в обеих трассах объединяют в один поток, и результирующая интерференционная картина приходит на приемник.

На второй схеме (рис. 2б) волокно так же разделяется на две трассы. Небольшой отрезок чувствительной части волокна является волокном с сохранением поляризации, он выполняет роль оптического сумматора. Остальная часть – одномодовое волокно без сохранения поляризации. При проходе поляризованного излучения через такое волокно, излучение теряет свою поляризацию, но на конце этой трассы установлено зеркало Фарадея, которое поворачивает поляризацию на 90° . Отражаясь, излучение проходит по тому же самому маршруту и на выходе получается поляризованное излучение с повернутой на 90° относительно изначальной с плоскостью поляризации (на схеме стрелками указано направление поляризации). Далее излучение проходит во второе плечо где происходит поворот его поляризации (этого можно добиться поворотом волокна), и результирующий поток поступает на приемник.

Третья схема (рис. 2в) является наиболее простой в реализации, так как число компонентов ниже, а также ниже требования к ним. Излучение поступает в многомодовое волокно, которое также является и чувствительной частью датчика, и после прохождения трассы результирующая спекл-картина приходит на приемник.

Методы на основе классической оптоволоконной интерферометрии являются крайне чувствительными к внешним воздействиям, что позволяет детектировать даже незначительные колебания. Однако такая высокая чувствительность может быть избыточной в ряде случаев, так как существует вероятность регистрации колебаний, приравняемых к шуму, что может отрицательно сказаться на результатах измерения. К тому же такие интерферометры весьма дорогие. Так цена волокна с сохранением поляризации, входящего в состав такой систем, варьируется от 25 до 350 за метр [3] и более долларов США. Помимо волокна такие системы содержат другие весьма дорогие компоненты, например, зеркало Фарадея (порядка 65 000 рублей [4]) Также такое волокно предъявляет довольно высокие требования к источнику и приемнику излучения, и к монтажу, что дополнительно повышает цену системы.

Системы на основе спекл-интерферометрии являются более дешевыми, так цена на многомодовое волокно лежит в пределах от 2 до 10 долларов США за метр [3]. Сама схема такой системы проще чем схемы на основе классической оптоволоконной интерферометрии и включает в себя источник, волокно, приемник и анализатор. Также оно не предъявляет таких высоких требований к источнику и приемнику, что позволяет использовать более дешевые компоненты. Этот метод в среднем является менее чувствительным, но при этом его чувствительность может быть достаточна для детектирования целевых процессов. В рамках исследования применимости спекл-интерферометрии для детектирования дыхания спящего человека была проведена серия экспериментов для оценки чувствительности метода (рис. 3). На рис. 4, 5, 6, 7, 8, 9 показано изменение спекл-картины под воздействием давления, создаваемого дыханием испытуемого (человек лежит на спине и дышит спокойно).

В этом эксперименте было использовано многомодовое волокно 50/125 μ градиентное класс OM3, в качестве источника был использован оптический визуализатор дефектов с длиной волны $\lambda = 650$ нм. Также изменялась длина чувствительного отрезка волокна: она составляла порядка 3 (рисунок 4, 6) и 6 (рисунок 5, 7, 8, 9) метров. Волокно было расположено на подложке, которая по сути и являлась деформируемой поверхностью: рассматривались варианты с мягкой (рисунок 3, 4, 5, 6, 7), в качестве которой использовался матрац, и твердой (рисунок 9) подложкой. Также сверху был расположен еще один матрац с толщинами 2 (рисунок

6, 8, 9) и 5 (рисунок 4, 5, 7) см. Спекл был спроецирован на экран из миллиметровой бумаги с нанесенной на нее координатной осью.

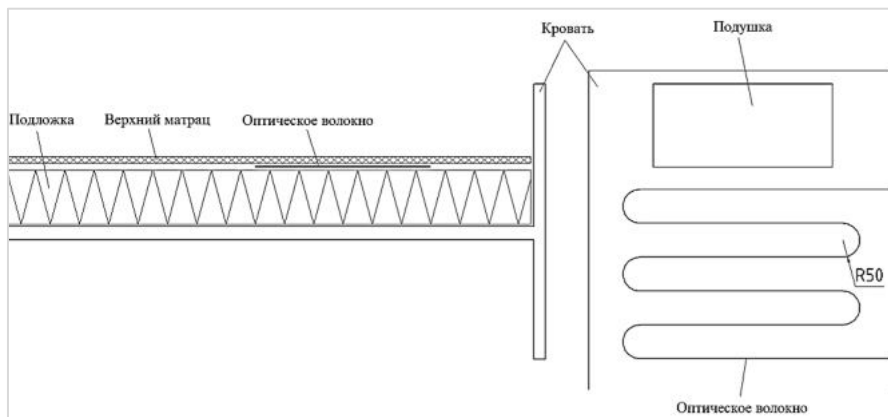


Рис. 3. Схема расположения оптического волокна в эксперименте

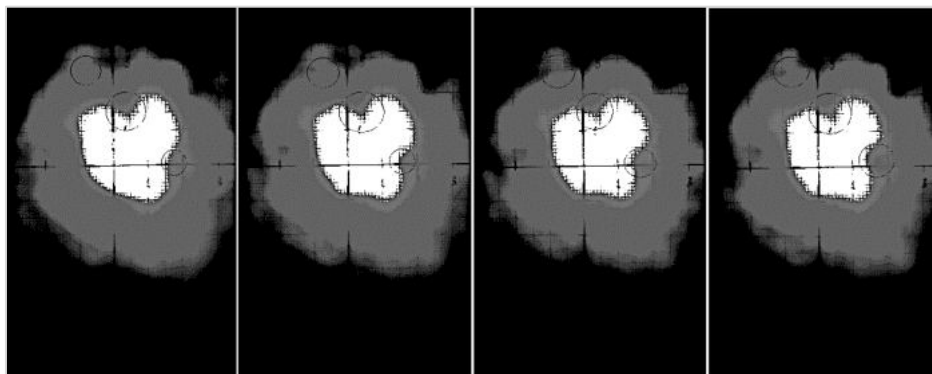


Рис. 4. Эволюция спекл – картины: толщина верхней подложки 5 см (наиболее явные места изменения картины выделены кругами, время между кадрами 0.5 с), длина волокна – 3 м

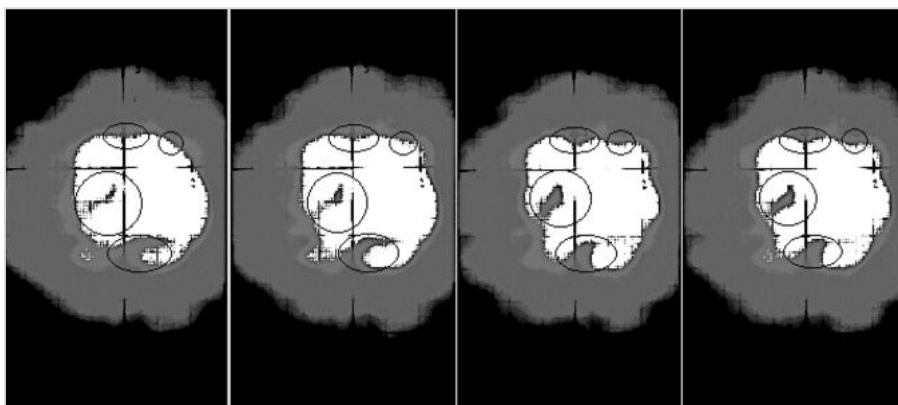


Рис. 5. Эволюция спекл – картины: толщина верхней подложки 5 см (наиболее явные места изменения картины выделены кругами, время между кадрами 0.5 с), длина волокна – 6 м

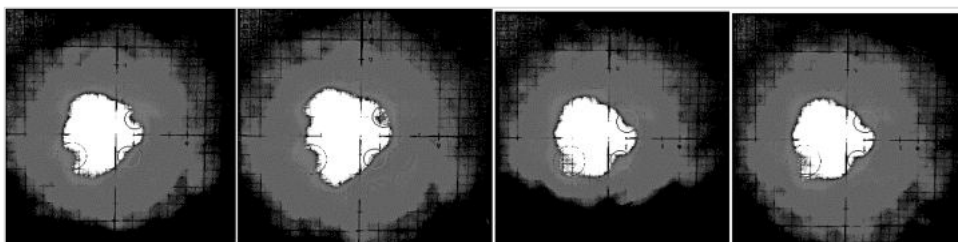


Рис. 6. Эволюция спекл – картины: толщина верхней подложки 2 см (наиболее явные места изменения картины выделены кругами, время между кадрами 0.5 с), длина волокна – 3 м

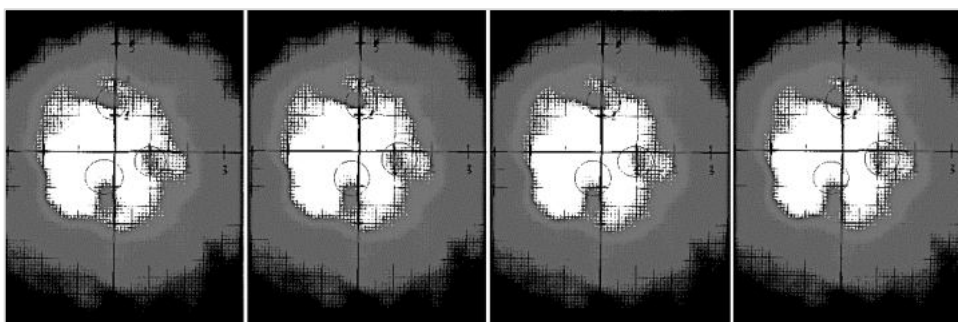


Рис. 7. Эволюция спекл – картины: толщина верхней подложки 5 см (наиболее явные места изменения картины выделены кругами, время между кадрами 0.5 с), длина волокна – 6 м

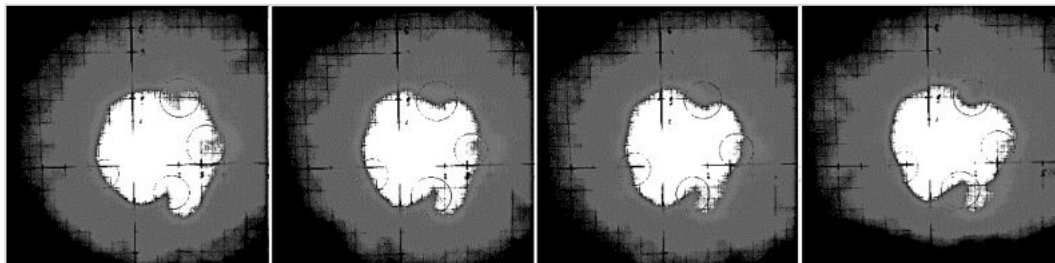


Рис. 8. Эволюция спекл – картины: толщина верхней подложки 2 см (наиболее явные места изменения картины выделены кругами, время между кадрами 0.5 с), длина волокна – 6 м

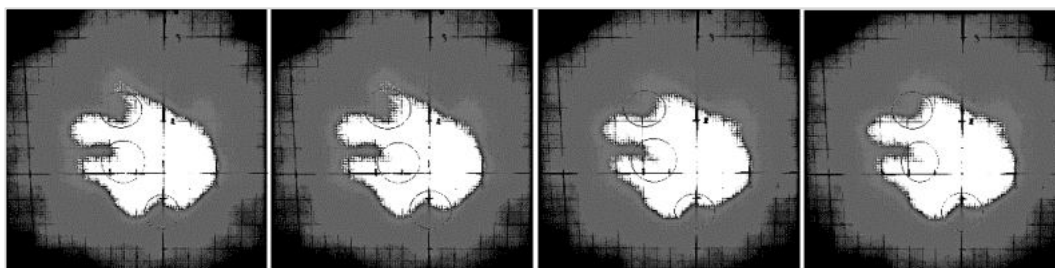


Рис. 9. Эволюция спекл – картины: толщина верхней подложки 2 см (наиболее явные места изменения картины выделены кругами, время между кадрами 0.5 с), длина волокна – 6 м

Заметно, что при использовании отрезка длиной 3 метра изменения не такие явные, так как чувствительность метода напрямую зависит от длины волокна.

Также хорошо заметно, что при использовании более тонкой верхней подложки изменения картины более явные.

При проведении опытов с твердой подложкой визуальные изменения картины практически незаметны.

Таким образом можно сделать вывод, что спекл-интерферометрия обладает достаточной чувствительностью для измерений колебаний с амплитудой порядка 10^{-3} м на участке площадью 1 м^2 при использовании нетвердой подложки или возникновении достаточных колебаний, а также при использовании достаточно длинной чувствительной части.

Из-за невысоких требований к компонентам, предъявляемых системой, в качестве приемника можно использовать модуль IP камеры если излучение с волокна спроецировать прямо на матрицу. Для подтверждения этого был проведен опыт, где в качестве приемника был взят модуль от камеры Philips. На полученной картине хорошо видно изменение спекл-картины (рис. 10).

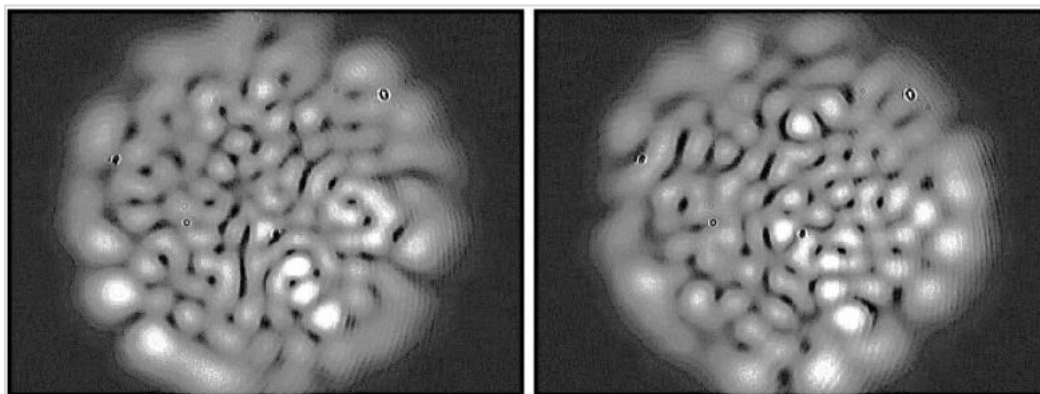


Рис. 10. Эволюция спекл-структуры (время между кадрами 1 с)

После получения спекл-картины проводится анализ полученных данных. Выявлять изменения картины можно при помощи метода вычитания изображений, что позволяет обнаружить изменения картины во времени и, как следствие, возникновение вибраций.

Библиографический список

1. Ким А. А, Поначевная И. Ф. Метод измерения эффективного показателя преломления волновода // В сб.: «Молодежь. Техника. Космос»: материалы X Общероссийской молодежной науч.-техн. конф. СПб: БГТУ «Военмех», 2018. С. 173 – 176.
2. Distributed Fiber-Optic Sensors for vibration detection/ Xin Liu, Baoquan Jin, Qing Bai et. al. – Taiyuan: Key Laboratory of Advanced Transducers and Intelligent Control Systems, 2016. – р. 31.
3. Thorlabs. [Электронный ресурс]: URL: <https://www.thorlabs.com/> (дата обращения 21.01.2021).
4. Азимут фотоникс. [Электронный ресурс]: URL: <http://www.azimp.ru/> (дата обращения 21.01.2021).

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДРЕВОВИДНОЙ СТРУКТУРЫ ДАННЫХ ДЛЯ ХРАНЕНИЯ ОБЪЕКТОВ 3D-СЦЕНЫ

С. И. Когаков

Балтийский государственный технический университет «Военмех» им. Д. Ф. Устинова

При разработке приложения для трехмерной визуализации географических карт появилась необходимость выполнять отображение объектов 3D-сцены в определенном радиусе от «камеры». Эта операция не должна зависеть от радиуса зоны предзагрузки. Также было необходимо понять когда выполнить загрузку следующей области сцены. Для этого была спроектирована и разработана структура данных.

Основными требованиями к структуре является:

1. Выполнение операций хранения и удаления всех объектов сцены.
2. Выполнение быстрого поиска соседних «регионов» для их последующей отрисовки.
3. Реализация механизма «event»(сигналов) для загрузки и выгрузки регионов.

Для выполнения всех вышеуказанных требований была спроектирована структура cubeTree(кубическое дерево)(далее – дерево) изображённое на рисунке 2. Она представляет модификацию классического дерева бинарного поиска, с добавлением полей для работы на 3 координатах и возможностью обхода близких «регионов» без необходимости производить поиск по всему дереву. Сам принцип дерева основывается на принципе «Разделяй и Властвуй». Пространство делится на регионы размеров в 2 условные единицы. Над ними строятся более крупные регионы, которые включают равное количество частей, потом эти части тоже объединяются на такое же количество уже своих частей и т.д. (рис.1).

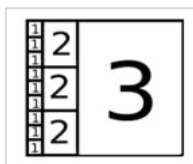


Рис. 1. Принцип разделения на регионы

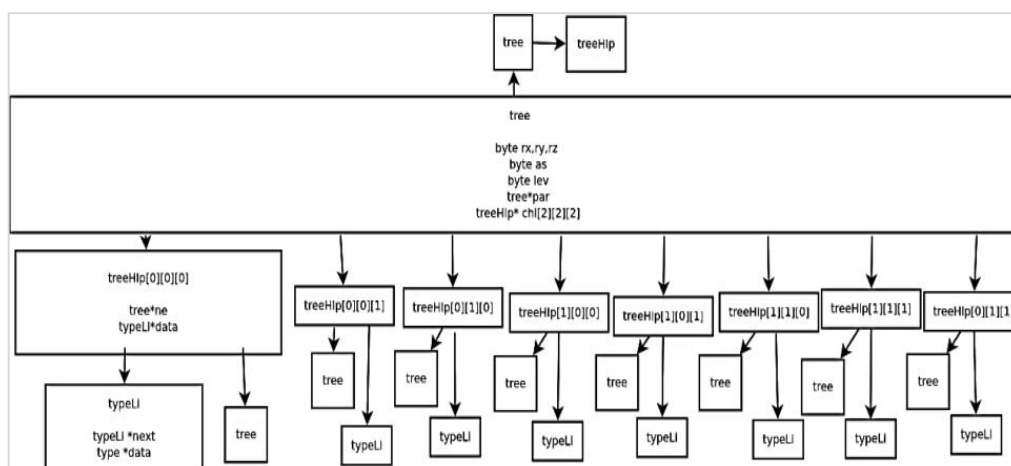


Рис. 2. Структурная схема cubeTree

Поля структуры *tree*(основная структура дерева): *gx,gy,gz* – позиция «региона в степенной системе координат»; *as* – счётчик не занятых мест в текущем листе дерева; *lev* – уровень спуска от *root* листа; *par* – ссылка на родителя; *chi* – массив потомков.

Поля структуры *treeNpr*(вспомогательная структура дерева): *pe* – указатель на ребёнка данного листа; *data* – список объектов в данном листе.

Поля структуры *typeLi*(список объектов) представляет: *pe* – указатель на следующий элемент списка; *data* – объект хранящийся в дереве.

При вставке в дерево выполняется сравнение не отношений между соседними элементами (больше или меньше), как в бинарном дереве, а показатель степени $2(\log_2(\text{координаты объекта на уровне lev дерева}))$. И находится его позиция вставки по алгоритму:

$$\begin{aligned} &\text{если}(ax = rx) \vee (ay = ry) \vee (az = rz) \\ &\quad a = (ax \neq rx) \\ &\quad \{b = (ay \neq ry)\} \\ &\quad c = (az \neq rz) \\ &\quad \text{иначе} \\ &\quad a = b = c = 0 \end{aligned} \tag{1}$$

Позиции *gx, gy, gz* и координаты объекта на конкретном уровне *lev* дерева изменяются по формуле $\text{round}(\log_2(\text{cord}))$:

$$\begin{aligned} pos.x &= (rx = (1 \ll (a * resX) - pos.x)) \\ pos.y &= (ry = (1 \ll (b * resY) - pos.y)) \\ pos.z &= (rz = (1 \ll (c * resZ) - pos.z)) \end{aligned} \tag{2}$$

где $res^* = \log_2 k$, где *k* – степень дерева (в данной (бинарной) реализации =1), *a,b,c* – позиции вставки.

Вставка прекращается, если $gx \leq 1$ и $gy \leq 1$ и $gz \leq 1$. Это значит, что достигнута нужная ветка. Вставка самого объекта осуществляется в односвязный список, находящийся в *chi* [0][0][0].

Также при построении дерева применяется ряд оптимизаций, связанных с уменьшением «высоты» дерева. Одна из них – это «выбрасывания» ненужных ветвей на одном уровне. Уровень – это набор ветвей, создаваемых для уточнения позиции в дереве, вычисляется по формуле 2. Для однозначного поиска существует правило, что любой уровень должен начинаться с равных уровней r^* . Без этого правила могут быть критические ошибки при вставке в дерево определённых объектов. В связи с введёнными выше оптимизациями встаёт необходимость ввода правила: каждый уровень каждого листа дерева должна быть < позиции объекта. Если оно не выполняется => объекта нет в дереве. Также ведётся счётчик количества (в реализации называется *as*) использованных связей-потомков для понимания в какой момент времени данный лист больше не нужен, и его можно удалить.

Главным недостатком данного дерева является высокое потребление ОЗУ на больших объемах объектов. Для борьбы с этим недостатком были введены также некоторые оптимизации памяти. Был убран массив *Chi* в том случае, если «ребёнок» только один, и была удалена из элементов *chi* структура *treeNpr* (если она в данном случае не требуется), но эти оптимизации не устраняют проблемы полностью. Здесь требуется удаление ненужных веток при монотонном спуске, но данная оптимизация пока полностью не реализована.

Также из-за свойств дерева теряется необходимость в постоянном балансировании, присущее для всех бинарных деревьев. При удалении элемента дерево самооптимизируется по высоте (удаляются все ненужные ветки), что позволяет ускорить поиск по дереву. Вследствие архитектуры дерева возможно ещё сильнее оптимизировать высоту дерева путём использования дополнительной памяти, заменив основание степени дерева (которая в данной реализации = 2) на более высокую степень, но данная функция не была пока реализована. Структура данных выполняет важнейшую роль в жизненном цикле приложения. Она выполняет запросы отрисовки, управление ресурсами оперативной памяти и памяти видеокарты. Также она определяет, какие объекты следует отрисовать в данный момент времени в зависимости

сти от положения пользователя в пространстве. Дерево спроектировано таким образом, что чтение из него может быть произведено в несколько потоков, но запись производится в однопоточном режиме. Так как чтение в данном случае наиболее используемая операция. В виду этого при соответствующих оптимизациях приложения можно производить многоядерную отрисовку, что заметно поднимет производительность на современных многоядерных системах.

Так как у дерева единственное назначение – хранение и отправка очереди объектов на отображения сцены, то было принято решение добавить в него систему сигналов(event), которая позволяет получать «уведомления», если координата «камеры» вышла за пределы загруженной области. Сигналы бывают 2 видов: 1- загрузить объект на координате, 2- удалить объект с координаты. Сами сигналы характеризуются дальностью предзагрузки и шагом координатной сетки.

Для оценки эффективности работы описываемой структурой данных были проведены тесты: 1) с малым количеством объектов 1 – 81; 2) с большим количеством объектов 40000 – 1.225e7.

1) Графики зависимости времени выполнения от количества объектов. Данные получены при помощи функции clock(), т. к. ни один известный профайлер не показывал достоверной картины (там отсутствовали показатели для исследуемых функций) (таблицы 1 и 2, рис. 3 и 4).



Рис. 3. График зависимости количества тактов от размера тестов для последовательных данных

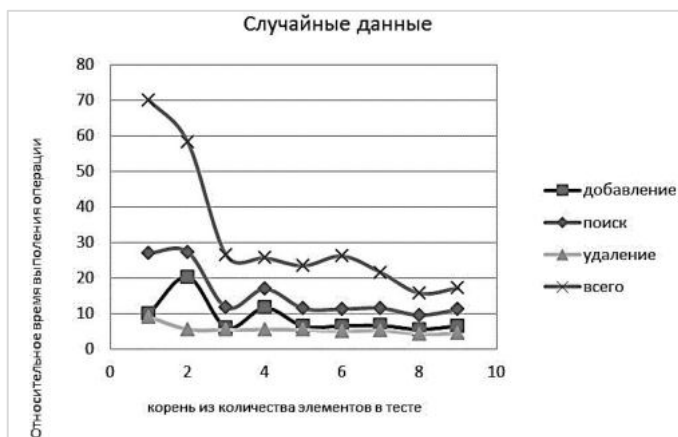


Рис. 4. График зависимости количества тактов от размера тестов для случайных данных

Таблица 1
 Результаты (математическое ожидание, дисперсия, стандартное отклонение)
 последовательного теста для малых данных

	Идеальное	Добавление	Поиск	Удаление	Всего
Mx	1,8703920422335	0,998106059207	0,85352409073	0,9044151216531	0,878162942836783
Dx	0.84	0.38	0.13	0.06	0.2
G	0.92	0.62	0.36	0.24	0.44

Таблица 2
 Результаты (математическое ожидание, дисперсия, стандартное отклонение)
 случайного теста для малых данных

	Идеальное	Добавление	Поиск	Удаление	Всего
Mx	1.87	1.11	0.94	0.92	0.87
Dx	0.84	0.37	0.09	0.02	0.05
G	0.92	0.61	0.31	0.14	0.21

2) Графики зависимости инструкций процессора от размера тестов. Данные получены при помощи intel Vtune Proffiler 2021.1.2 (таблицы 3 и 4; рис. 5 и 6).

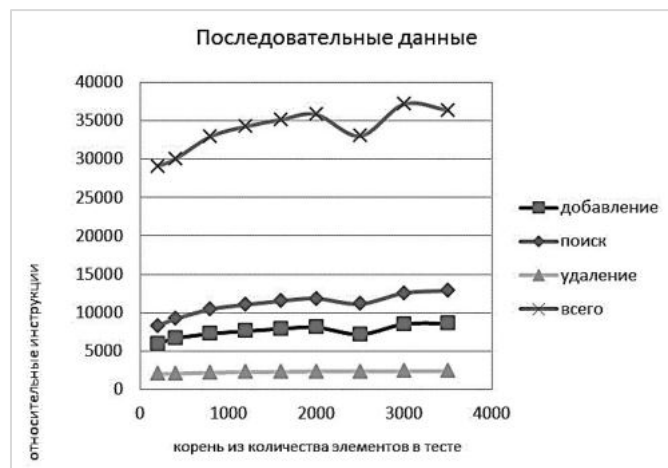


Рис. 5. График зависимости количества инструкций от размера тестов для последовательных данных

Таблица 3
 Результаты (математическое ожидание, дисперсия, стандартное отклонение)
 последовательного теста для больших данных

	Идеальное	Добавление	Поиск	Удаление	Всего
Mx	2.24	1.05	1.06	1.02	1.03
Dx	1.25	0.01	0	0	0
G	1.12	0.09	0.07	0.02	0.06

Таблица 4
 Результаты (математическое ожидание, дисперсия, стандартное отклонение)
 случайного теста для больших данных

	Идеальное	Добавление	Поиск	Удаление	Всего
Mx	2.37	1.01	1.01	1.01	1.01
Dx	1.31	0	0	0	0
G	1.14	0.02	0.01	0.04	0.01

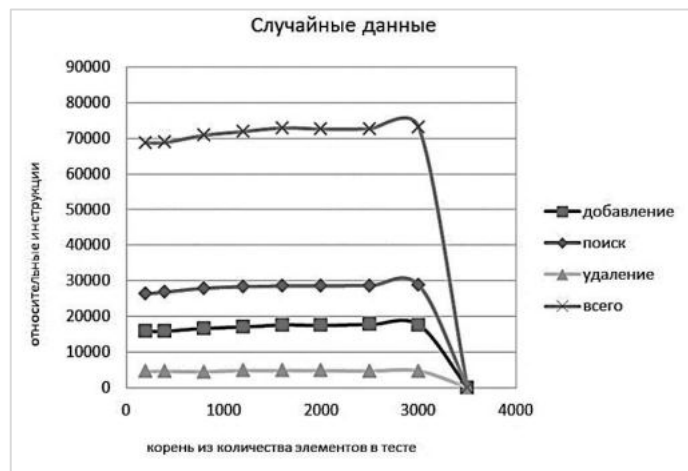


Рис. 6. График зависимости количества инструкций от размера тестов для случайных данных

По проведённым выше результатам видно, что при росте данных в тесте в n раз, итерации в тесте остаются примерно на том же уровне. На графике, построенном для малых величин, видны некоторые аномалии, которые, скорее всего, связаны с погрешностями `clock()` (при проведении теста два абсолютно одинаковых запуска давали разные результаты (они усреднялись по 3 измерениям)). Дисперсия и стандартное отклонение таких изменений очень мало (тысячные доли) и можно сделать вывод, что это не закономерные явления, а скорее всего явления, связанные с самой выборкой (например, в одном случае был «путь» ветвей до нужного значения, а в другом – его пришлось строить). В результате проведённых тестов, получено:

Временная сложность добавления $O(1)$.

Временная сложность поиска $O(1)$.

Временная сложность удаления $O(1)$. Исходя из этого, можно утверждать, что спроектированная структура данных подходит для данной конкретной задачи. Временные показатели достаточно небольшие для условий его применения, но его основная проблема – это высокое потребление RAM на больших объемах объектов. Этот показатель можно нивелировать, если использовать дерево с большим основанием дерева, чем 2. В рамках предметной области в данной мере нет необходимости, так как объекты находятся достаточно близко к друг другу, а значит можно не выделять дополнительные ветки для их адресации.

В результате проведённых испытаний структура полностью удовлетворяет возложенным на неё требованиям. Производительность и потребление RAM достаточно для задач, в которых она будет использоваться. Структура уже используется в выпускной квалификационной работе бакалавра.

УДК 004.94, 621.396.67

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИАГРАММЫ НАПРАВЛЕННОСТИ АКТИВНОЙ ФАЗИРОВАННОЙ АНТЕННОЙ РЕШЕТКИ ИЗ ИЗЛУЧАТЕЛЕЙ ВИВАЛЬДИ С ПОМОЩЬЮ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

М. А. Крылова

Балтийский государственный технический университет «Военмех» им. Д. Ф. Устинова

В статье рассматривается возможность оценки характеристик, в том числе диаграммы направленности, активной фазированной антенной решетки (АФАР) с помощью компьютерного анализа методом декомпозиции (совокупность метода конечных элементов и метода моментов). Произведено компьютерное моделирование сверхширокополосной АФАР, состоящей из излучателей Вивальди, получены базовые характеристики антенной системы, которые являются отправной точкой для дальнейшей разработки и исследования радиоэлектронного комплекса.

Благодаря развитию производственных технологий и удешевлению техпроцесса проектирования и изготовления антенных излучателей наладилось производства широкополосных печатных антенн, которые позволяют существенно снизить массогабаритные характеристики радиоэлектронных систем на их основе. Такие излучающие комплексы становятся основой для построения активных фазированных антенных решеток. АФАР позволяют управлять положением луча диаграммы направленности без изменения ориентации и положения антенной системы (луч отклоняется за счет изменения фазы подаваемых сигналов к каждому соответствующему излучателю антенной решетки), благодаря чему появляется возможность проводить сканирование окружающего пространства [1]. Вследствие небольших размеров и малого веса комплексы печатных широкополосных излучателей для дистанционного зондирования (наблюдения за объектами на земной поверхности) возможно устанавливать на беспилотные летательные аппараты.

Одним из представителей печатных сверхширокополосных антенн является излучатель Вивальди (рис. 1).

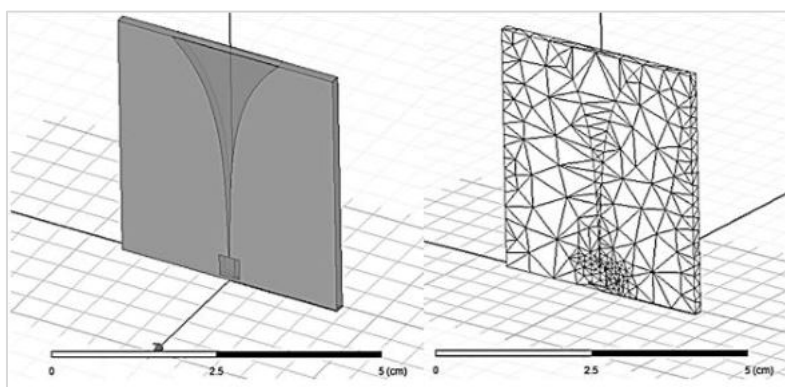


Рис. 1. Антенна Вивальди

Слева – геометрическая модель единичного излучателя для компьютерного моделирования, справа – результат построения сетки единичного излучателя при проведении расчетов

Излучатель представляет собой экспоненциально расширяющаяся щель в тонком слое металла на диэлектрической подложке. В точке питания антенны волновое сопротивление составляет 50 Ом (как и сопротивление линии передачи), за счет изменения геометрии излу-

чателю по определенной закономерности волновое сопротивление в его раскрытии становится равным сопротивлению свободного пространства 377 Ом, за счет чего достигается согласование и антенна способна работать в режиме бегущей волны (свободно излучать энергию). Полоса рабочих частот такой антенны может достигать десятков ГГц, которая определяется геометрическими размерами расширяющейся щели. Наиболее интенсивно излучает электромагнитную энергию участок антенны с шириной равной половине длины излучаемой волны. Внешняя ширина излучателя Вивальди определяет нижнюю рабочую частоту, а ширина внутренней щелевой линии – верхнюю рабочую частоту [2].

В настоящее время не существует точных теорий расчета АФАР из антенн Вивальди (встречаются только методики для единичных излучателей [2,3]), поэтому для исследования характеристик и параметров таких антенных систем предлагается использовать компьютерное моделирование.

Компьютерные эксперименты позволяют существенно сэкономить время и деньги при разработке антенных комплексов, так как для исследования таких радиоэлектронных систем не придется физически изготавливать прототип и использовать специализированное оборудование для определения его характеристик. Также виртуальный анализ антенного комплекса позволит наблюдать и прогнозировать результаты, и, возможно, найти неожиданные проблемы в работе радиоэлектронной системы.

Ядром проведения компьютерного моделирования антенн и антенных решеток (АР) предлагается использовать метод конечных элементов и метод интегральных уравнений (метод моментов).

Метод конечных элементов представляет собой решение дифференциальных уравнений в конкретной области, которая разделяется на конечное число непересекающихся элементов небольшого размера (построение сетки), связанных между собой в узлах (вершинах). Для каждого элемента находится аппроксимирующая функция (полином) и составляется соответствующая система линейных алгебраических уравнений с учетом различных вкладов от элементов и узлов. В результате решения системы уравнений определяются расчетные величины и характеристики в элементах. Повторное построение сетки с более мелкими элементами и решение соответствующих дифференциальных уравнений продолжают до тех пор, пока результаты двух решений не будут отличаться больше, чем на какую-либо величину (например, 0.02). В настоящий момент данный метод широко применяется для компьютерного анализа большинства электромагнитных устройств.

Метод моментов сводится к решению уравнений Максвелла в интегральной форме. При этом происходит построение сетки только интересующей нас исследуемой структуры, разбиение свободного пространства не происходит. Благодаря этому экономятся ресурсы вычислительной техники, используемой при компьютерном моделировании. Метод моментов наиболее часто применяется для анализа электромагнитных структур и систем, где присутствуют токи в проводниках и диэлектриках, что позволяет определить распределение токов на металлических и диэлектрических компонентах и визуализировать излучения электромагнитного поля в свободном пространстве.

Решение единичного излучателя и антенной решетки предлагается проводить с использованием гибридного метода (объединение метода конечных элементов и метода моментов), что позволит снизить затраты вычислительных систем на моделирование антенной системы. При проведении моделирования с помощью гибридного метода конечноэлементная сетка дополнительно уплотняется в местах с большей напряженностью поля, что позволяет получать более точные расчеты электромагнитных характеристик.

Для анализа конечных АР (где учитываются краевые эффекты и взаимные влияния антенных элементов друг на друга) можно применять метод декомпозиции – моделирование АР произвольных размеров путем анализа всего лишь одного антенного излучателя. Преимущество данного метода – значительная экономия ресурсов вычислительной техники с отсутстви-

ем снижения точности расчетов, по сравнению с анализом АР с полным представлением каждой ячейки, а не виртуального размножения одного излучающего элемента.

Объектом компьютерного моделирования является сверхширокополосная щелевая антенна Вивальди. Антенная решетка из излучателей Вивальди обладает следующими достоинствами: малые массогабаритные параметры, высокий коэффициент усиления, стабильные характеристики излучения, возможность построения многолучевой диаграммы направленности.

Для установки системы на беспилотный летательный аппарат проектируемая система должна удовлетворять следующим требованиям: максимальный размер АФАР (ширина \times длина) 42 \times 42 см, минимальная направленность (коэффициент направленного действия) 200 (23 дБ), максимальная излучаемая мощность 65 Вт, ширина диаграммы направленности главного лепестка не более 5°, количество лучей в диаграмме направленности – от 4 до 12 шт.

Для компьютерного моделирования был выбран излучатель Вивальди со следующими характеристиками: высота 4.1 см, длина 3.75 см, ширина 0.315 см; рабочая полоса частот 8-21 ГГц, геометрия щели изменяется по экспоненциальному закону.

Габариты антенной решетки ограничены размером в 42 см, поэтому максимальное число излучателей в системе может составлять 9 \times 9 элементов (с учетом запаса по габаритам на корпус антенной решетки). Частота, на которой проводится исследование, составляет 15 ГГц, центральный луч диаграммы направленности направлен нормально к плоскости антенной решетки. Маска излучателей (схема расположения активных, пассивных и отключенных излучателей) представляет собой квадрат, в масках 4 \times 4 – 9 \times 9 отключаются угловые элементы для образования восьмиугольника из активных излучателей.

В результате моделирования с помощью метода декомпозиции были получены параметры антенных решеток различного размера, которые представлены в таблице 1. На рис. 2 изображены объемные диаграммы направленности исследуемых антенных систем.

Таблица 1
Характеристики антенных решеток,
полученные с помощью компьютерного моделирования

Размер маски излучателей	Peak directivity – максимальная направленность		Peak Gain – максимальное усиление		Radiated Power – излучаемая мощность, Вт	Maximum U – максимальная интенсивность излучения	Beam area*
	dB	Разы	dB	Разы			
9 \times 9	25.71	372.47	25.49	354.38	49.69	1401.31	0.0354
8 \times 8	25.02	317.82	24.79	301.54	45.41	1089.75	0.0416
7 \times 7	23.38	218.24	23.16	207.06	30.22	498.05	0.0606
6 \times 6	21.42	138.67	21.18	131.48	21.90	229.23	0.0955
5 \times 5	20.86	121.93	20.62	115.53	18.60	171.01	0.1087
4 \times 4	19.02	79.83	18.77	75.45	9.76	58.63	0.1665
3 \times 3	17.68	58.74	17.44	55.48	8.19	36.16	0.2265
2 \times 2	14.86	30.67	14.61	28.93	3.57	8.23	0.4342
1	9.55	9.03	9.30	8.51	0.86	0.58	1.476

Beam area – площадь луча, рассчитывается как телесный угол луча. В простейшей форме $Beam\ area = \frac{4\pi}{D}$; где D – максимальная направленность.

Анализируя полученные результаты, можно прийти к выводу, что фазированная антенная решетка 7 \times 7 элементов удовлетворяет требованиям, поставленным ранее. Диаграмма направленности этого комплекса излучателей имеет 9 лучей с шириной главного лепестка 4.12° (рис. 3). На рис. 4 представлена диаграмма направленности, где центральный луч отклонен от

нормали к плоскости антенной решетки. Проведя серию экспериментов, можно получить комплекс значений фаз подаваемых сигналов для управления лучами данного антенного комплекса.

С помощью математического аппарата (совокупности метода конечных элементов и метода моментов) были определены базовые параметры активной фазированной антенной решетки из излучателей Вивальди без создания сложных и дорогостоящих стендов и уникальных физических моделей [4]. Компьютерное моделирование способно существенно упростить весь процесс исследования частотно-независимых антенн (представителем которых и является излучатель Вивальди), так как методики расчета таких достаточно сложных радиоэлектронных структур либо устарели и требуют больших время-ресурсных затрат, либо попросту отсутствуют.

Полученные в ходе компьютерного моделирования характеристики антенной решетки являются базовыми данными для дальнейшего исследования и усовершенствования рассматриваемой радиоэлектронной системы. Моделирование позволит не только оценить параметры комплекса в полосе частот, но рассмотреть влияние нагрева конструкции на форму диаграммы направленности и другие характеристики.

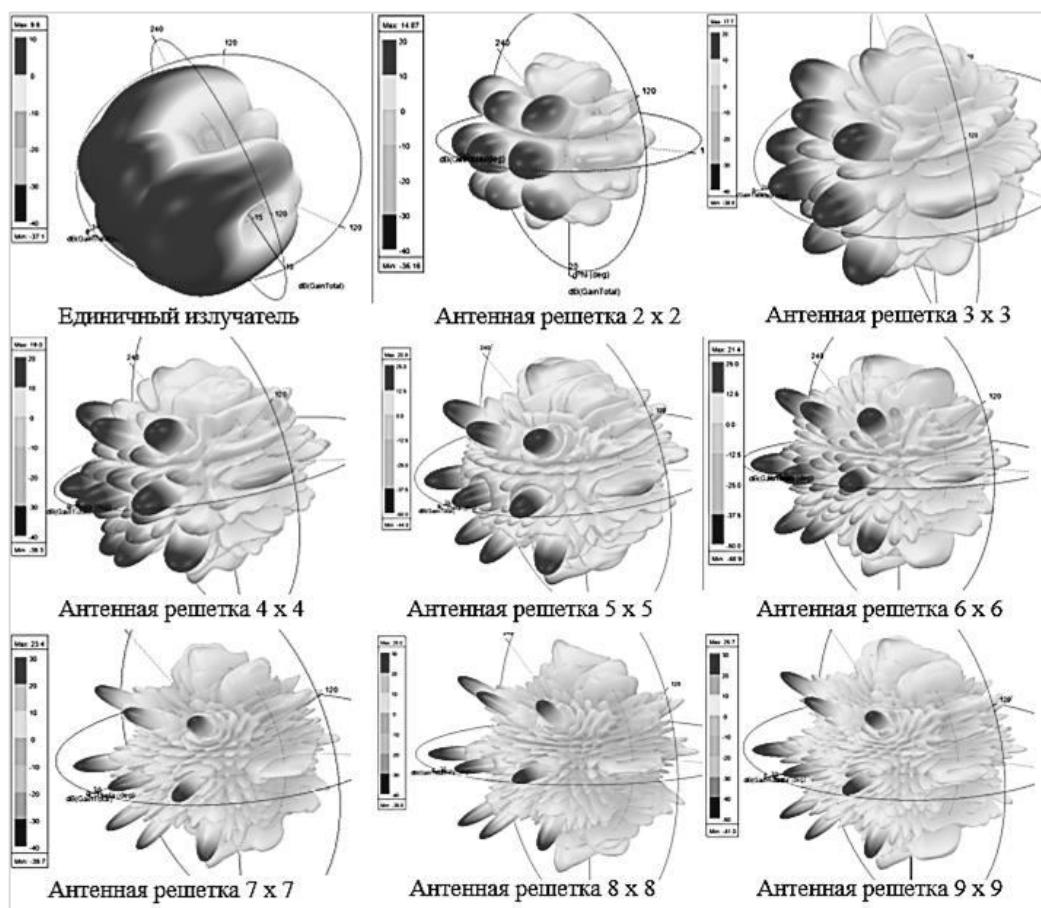


Рис. 2. Объемные диаграммы направленности антенных решеток, полученные в результате компьютерного моделирования

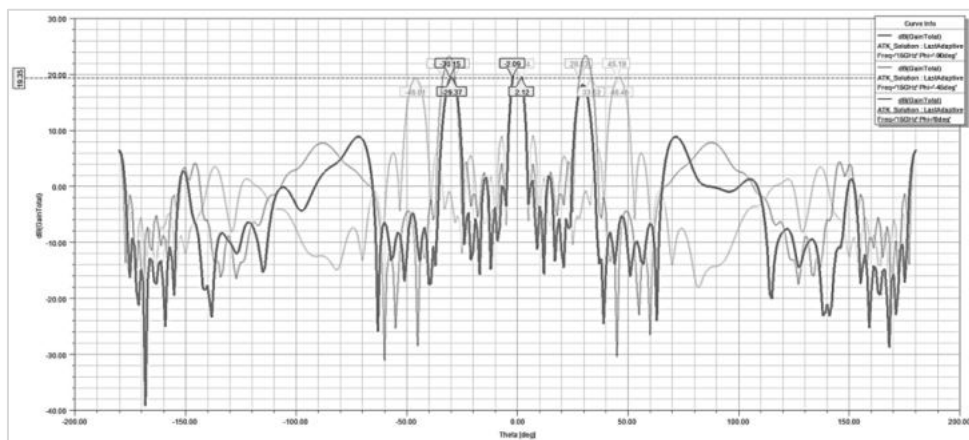


Рис. 3. Сечения диаграммы направленности антенной решетки 7×7 элементов в декартовой системе координат (плоскость сечения проходит через углы ϕ 0° , 45° , 90°)

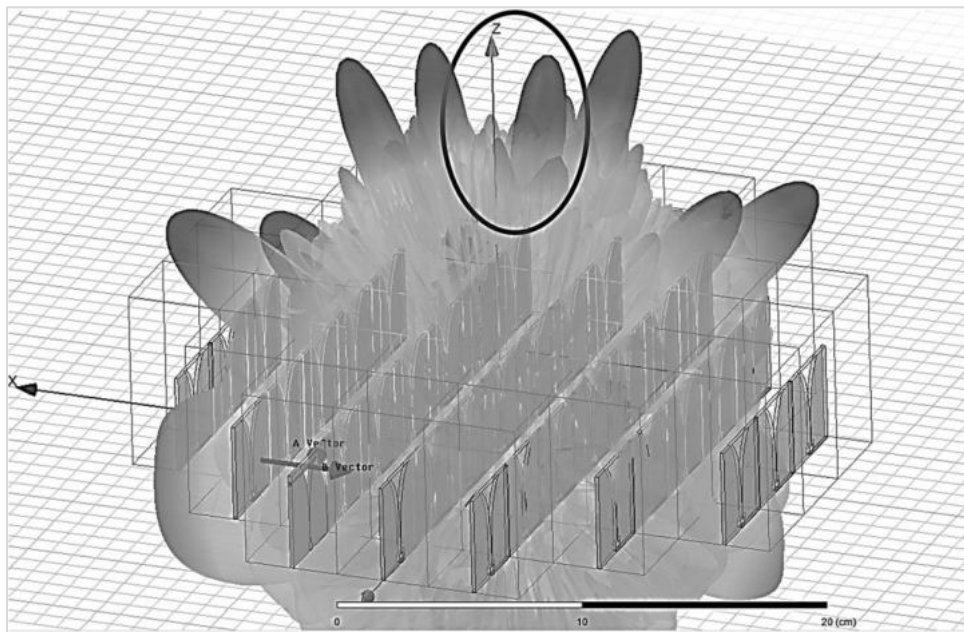


Рис. 4. Объемная диаграмма направленности антенной решетки 7×7 элементов, совмещенная с её геометрической моделью. Центральный луч диаграммы направленности отклонен от нормали к плоскости антенной решетки (ось Z на рисунке)

Библиографический список

1. Смирнов В. В., Сорокин А. А., Страхов С. Ю., Сотникова Н. В. Антенные решетки: учебное пособие для ВУЗов. СПб: БГТУ «Военмех», 2014. 81 с.
2. Устройства СВЧ и малогабаритные антенны. Учебное пособие для вузов / Под ред. А. М. Сомова. М.: Горячая линия-Телеком, 2012. 440 с.
3. Устройства СВЧ и антенны. Проектирование фазированных антенных решеток / Под ред. Воскресенского Д. И. М.: Радиотехника, 2012. 744 с.

4. Смирнов В. В. [и др.] Моделирование в радиолокации и радиоэлектронной борьбе: учебное пособие / под ред. В. В. Смирнова. СПб: БГТУ «Военмех», 2020. 83 с.

УДК 621.391.26

ИНТЕРПОЛЯЦИОННЫЕ АЛГОРИТМЫ ЦОС ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ СИГНАЛОВ

Ю. А. Локачева, В. А. Сеницын, А. П. Судин

Балтийский государственный технический университет «Военмех» им. Д. Ф. Устинова

Существует множество областей науки и производства, где необходимо анализировать спектр сигнала. Например, при разработке, обслуживании и эксплуатации радиоаппаратуры, мобильного и телекоммуникационного оборудования, а также самых разных систем связи. С помощью спектрального анализа решаются задачи обнаружения, разрешения и оценки параметров сигналов, сжатия данных, идентификации объектов, распознавания образов – речи, изображения и т.д. Каждый передатчик или каждый источник сигнала должен работать на своей, строго закрепленной за ним частотной полосе. Такие частотные полосы бывают настолько узкими, что сигнал неизбежно наслаивается один на другой. Различные устройства создают помехи друг для друга. Спектральный анализ позволяет увидеть границы своей частоты, и все, что к ней относится. Соответственно, «лишний» сигнал или помехи можно подавить: «срезать» или просто приглушить.

Существуют приборы, называемые спектроанализаторами, предназначенные для измерения и отображения спектра сигнала – распределения энергии сигнала по частотам. Благодаря анализатору спектра определяются амплитуда и частота спектральных компонент, которые входят в состав анализируемого процесса. Часто используются современные анализаторы, основанные на быстром преобразовании Фурье (БПФ).

На рис. 1, а приведен идеальный случай, когда в период измерения T попадает целое число периодов сигнала n . В таком случае частота сигнала равна n/T , шаг дискретного преобразования Фурье (ДПФ) равен $1/T$, и, как видно из рис. 1, б, единственный ненулевой отсчет спектра будет совпадать с частотой сигнала.

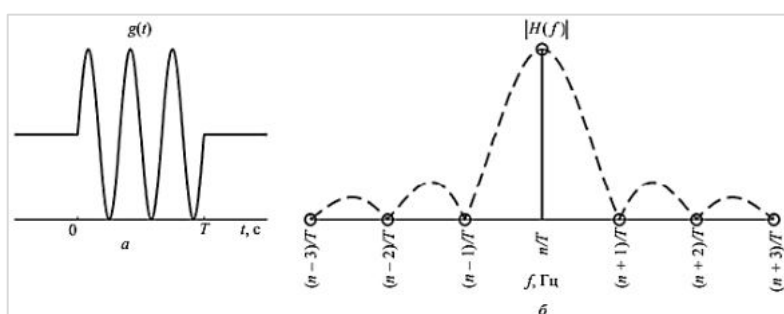


Рис. 1

- (а) – Случай, когда в период измерения T попадает целое число периодов сигнала n ;
(б) – спектр такого сигнала

Это способ получения чистой спектральной линии состоит в использовании метода когерентной выборки, в этом случае выборка содержит целое число периодов входного сигнала.

В случае, если в период измерения попадает нецелое число периодов сигнала z , например, $n + 1 < z < n$ (рис. 2, а), то кривая Фурье образа окна окажется, смещена относительно отсчета, кратного $1/T$ (рис. 2, б).

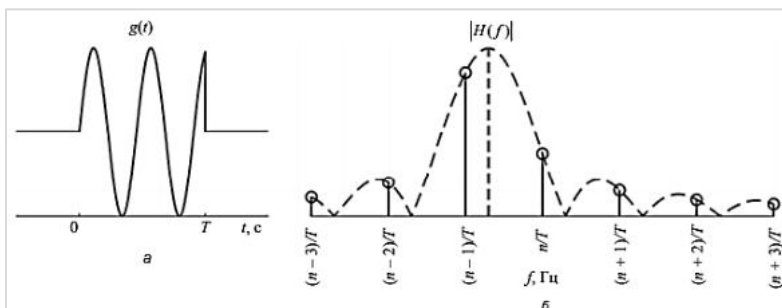


Рис. 2

(а) – случай, когда в период измерения попадает нецелое число периодов сигнала;
 (б) – спектр такого сигнала

В результате все отсчеты спектра окажутся ненулевыми, а максимальное значение будет соответствовать ближайшей к z/T частоте, кратной $1/T$. Этот эффект называется «растеканием спектра» или «утечкой спектра». Сигнал с нецелым числом периодов называется некогерентным.

ДПФ дает правильный результат только тогда, когда входная последовательность данных содержит энергию точно на аналитической частоте, на частоте, кратной фундаментальной. Если сигнал содержит компонент с некоторой промежуточной частотой, лежащей между аналитическими частотами, то этот входной сигнал проявится в некоторой степени на всех выходных бинах ДПФ.

Растекание спектра вызывает две основные трудности в анализе результатов ДПФ. Во-первых, растекание гармоник с большой амплитудой «скрывает» гармоники с меньшей амплитудой, находящиеся рядом. Во-вторых, часто невозможно определить значение частоты, присутствующей в спектре, потому что пик оказывается между соседними отсчетами.

Утечку спектра устранить полностью трудно, для уменьшения ее вредного влияния можно использовать весовые функции, которые также называются окнами. В таком случае перед расчетом ДПФ сигнал умножается на некоторую весовую функцию $w(n)$, обычно спадающую от середины к краям. Такая операция называется взвешиванием.

Для определения параметров сигнала при утечке спектра эффективно применение интерполяционных алгоритмов.

Алгоритмы интерполированного ДПФ используют спектральные отсчеты, часто называемые бинами, с наибольшей амплитудой в качестве базовой частоты и соседние элементы разрешения для интерполяции частоты, амплитуды и фазы оцененного пика спектра на основе соотношений амплитуд соседних бинов. Соседние бины содержат информацию об утечке, на которую дополнительно влияет окно, используемое для уменьшения ее воздействия.

Каждый алгоритм интерполяции для ДПФ сначала пытается оценить отклонение от центральной частоты элемента БПФ с наибольшей амплитудой. Затем вычисляется интерполяция ожидаемой амплитуды и фазы при этом отклонении частоты с использованием абсолютной амплитуды, представленной в пиковом и соседнем элементах БПФ.

Для конечной длины дискретного временного сигнала v_n , содержащего N отсчетов, ДПФ определяется как:

$$V_k = \sum_{n=0}^{N-1} v_n e^{-j(2\pi/N)kn}, k = 0, 1, 2, \dots, N - 1 \quad (1)$$

Задачей интерполяционных алгоритмов ДПФ для синусоидальных сигналов является нахождение частотной поправки анализируемого сигнала с известным окном, чтобы удовлетворяло уравнению (2):

$$\omega_0 = (k \pm \delta) \frac{2\pi}{N}, 0 < \delta \leq 0.5 \quad (2)$$

где ω_0 – частота сигнала, N – количество отсчетов, k – индекс бина ДПФ с наибольшей величиной, δ – коррекция частоты.

На рис. 3 изображена задача интерполяционных алгоритмов ДПФ. Если $|V_{k+1}| > |V_{k-1}|$, как показано на рис. 3, то в выражении (2) стоит знак «+».

При использовании прямоугольного окна, которое определяется следующим выражением:

$$w_n^R = \begin{cases} 1, & 0 \leq n < N \\ 0, & 0 > n \geq N \end{cases} \quad (3)$$

а спектр этого окна задается выражением (4):

$$W^R(e^{j\omega}) = \sum_{n=0}^{N-1} e^{-j\omega n} = e^{-j\omega(N-1)/2} \frac{\sin(\omega N/2)}{\sin(\omega/2)} \quad (4)$$

для интерполяционного алгоритма с помощью двух соседних спектральных отсчетов, получаем следующее выражение:

$$\frac{|V_{k+1}|}{|V_k|} \approx \left| \frac{\delta\pi/N}{-\delta\pi/N + \pi/N} \right| = \left| \frac{\delta}{\delta-1} \right| \quad (5)$$

Из выражения (5) коррекция частоты имеет вид:

$$\delta = \frac{|V_{k+1}|}{|V_k| + |V_{k+1}|} \quad (6)$$

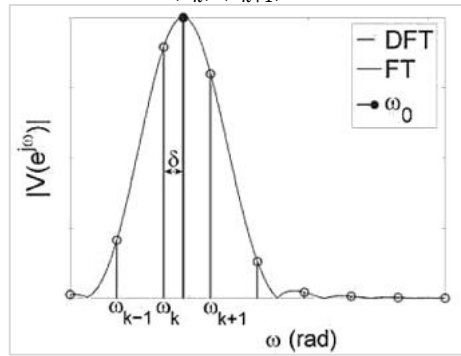


Рис. 3. Иллюстрация задачи интерполяционных алгоритмов; ω_{k-1} , ω_k , ω_{k+1} – частоты бинов ДПФ, ω_0 – частота сигнала, δ – коррекция частоты

Частота сигнала ω_0 может быть найдена из формулы (2). Амплитуда частотного бина может быть найдена из следующей пропорции:

$$\frac{|V(\omega_0)|}{|V(\omega_k)|} = \frac{|W^R(0)|}{|W^R(\delta 2\pi/N)|} = N \left| \frac{\sin(\delta\pi/N)}{\sin(\delta\pi)} \right| \approx \left| \frac{\delta\pi}{\sin(\delta\pi)} \right| \quad (7)$$

Из выражения (7) амплитуда сигнала определяется следующим образом:

$$|V(\omega_0)| = |V_k| \left| \frac{\delta\pi}{\sin(\delta\pi)} \right| = |V_k| \frac{\pi}{\sin(\delta\pi)} \delta \quad (8)$$

Фаза частотного бина ω_0 может быть найдена из следующего выражения:

$$\begin{aligned} \arg\{V(\omega_0)\} - \arg\{V(\omega_k)\} &= \\ \arg\{W^R(0)\} - \arg\{W^R(\delta 2\pi/N)\} &= -\arg\{e^{-j\delta(\pi/N)(N-1)}\} \end{aligned} \quad (9)$$

Из выражения (9) фаза сигнала определяется:

$$\arg\{V(\omega_0)\} = \arg\{V(\omega_k)\} \pm \arg\{e^{-j\delta(\pi/N)(N-1)}\} \quad (10)$$

Аналогично, для интерполяционного алгоритма с помощью трех соседних спектральных отсчетов получаем:

$$\frac{|V_k| + |V_{k+1}|}{|V_k| + |V_{k-1}|} \approx \left| \frac{\delta+1}{\delta-1} \right| \quad (11)$$

$$\delta = \frac{|V_{k+1}| + |V_{k-1}|}{2|V_k| - |V_{k-1}| + |V_{k+1}|} \quad (12)$$

В среде графического визуального программирования LabVIEW были реализованы два интерполяционных алгоритма определения параметров сигнала: с использованием двух и трех соседних спектральных отсчетов. Главная процедура вычисления параметров сигнала с помощью интерполяционных алгоритмов изображена на рис. 4.

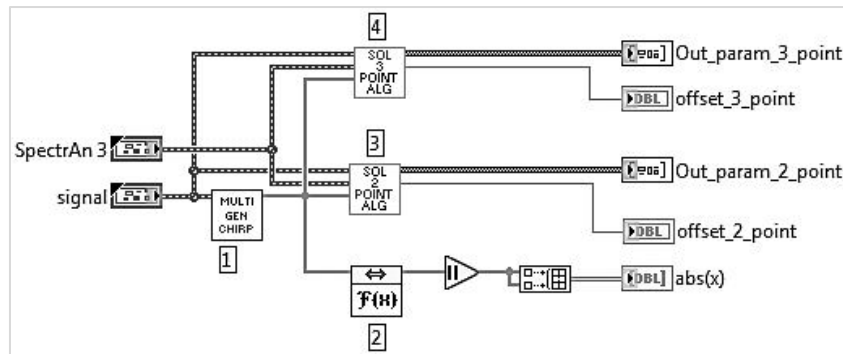


Рис. 4. Реализация интерполяционных алгоритмов для вычисления параметров сигнала в среде LabVIEW
На рис. 5 отображаются параметры входного тестового некогерентного сигнала.

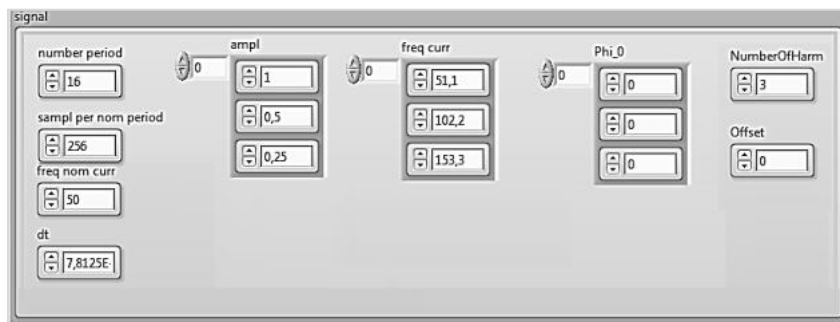


Рис. 5. Начальные значения входного сигнала

Сигнал, содержащий три гармоники, имеет следующие параметры: число периодов сигнала (number period) – 16; число отсчетов в одном периоде (samples per nom period) – 256; частота дискретизации (dt) – 12800 Гц; постоянное смещение (offset) – 0; первая гармоника имеет следующие параметры: амплитуда (ampl) – 1, частота (freq curr) 51,1 Гц, фаза (Phi_0) – 0; параметры второй гармоники: амплитуда (ampl) – 0,5, частота (freq curr) 102,2 Гц, фаза (Phi_0) – 0 и параметры третьей гармоники: амплитуда (ampl) – 0,25, частота (freq curr) - 153,3 Гц, фаза (Phi_0) – 0. Амплитудный спектр такого входного сигнала изображен на рис. 6.

Результаты расчета параметров тестового сигнала итерационным алгоритмом с помощью двух соседних спектральных отсчетов изображены на рис. 7.

На рис. 7 каждый столбец соответствует вычисленным значениям каждой гармоники. Видно, что вычисленные значения очень похожи на истинные значения параметров гармоник.

Результаты расчета параметров тестового сигнала итерационным алгоритмом с помощью трех соседних спектральных отсчетов изображены на рис. 8.

На рис. 8 каждый столбец соответствует вычисленным значениям каждой гармоники сигнала. Проведенное моделирование показало, что значения, вычисленные интерполяционным алгоритмом с помощью трех соседних спектральных составляющих, являются точнее, чем

значения, вычисленные интерполяционным алгоритмом с помощью двух соседних спектральных составляющих.

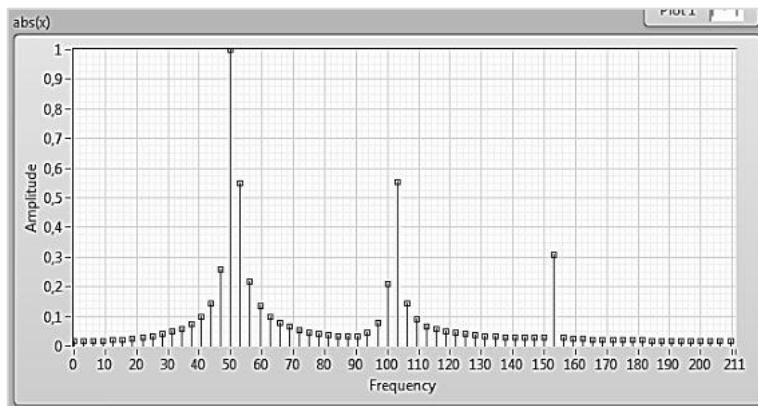


Рис. 6. Амплитудный спектр некогерентного тестового сигнала

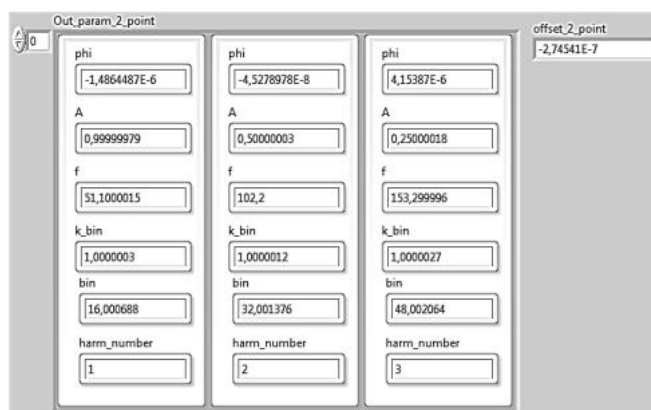


Рис. 7. Результаты расчета параметров сигнала итерационным алгоритмом с помощью двух соседних спектральных отсчетов

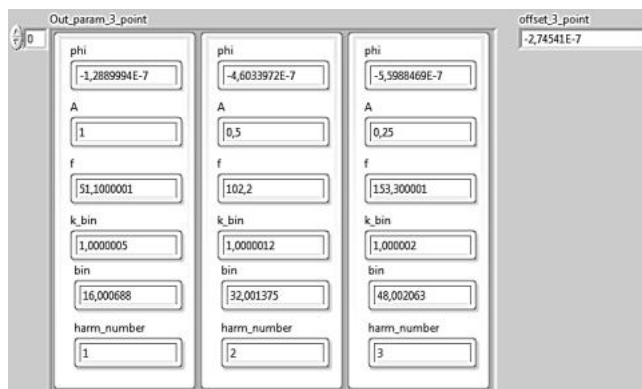


Рис. 8. Результаты расчета параметров сигнала итерационным алгоритмом с помощью трех соседних спектральных отсчетов

Библиографический список

1. *Duda K.* Interpolation Algorithms of DFT for Parameters Estimation of Sinusoidal and Damped Sinusoidal Signals.
2. *Grandke T.* (1983) Interpolation Algorithms for Discrete Fourier Transforms of Weighted Signals // IEEE Trans. Instrum. Meas. vol. 32, pp. 350 – 355.
3. *Harris F. J.* (1978) On the use of windows for harmonic analysis with the discrete Fourier transform, Proc. IEEE, vol. 66, pp. 51 – 83.

УДК 621.375.4

МЕТОДИКА МОДЕЛИРОВАНИЯ СВЧ УСИЛИТЕЛЯ МОЩНОСТИ S-ДИАПАЗОНА В САПР ADS

Н. С. Максимов¹, П. Ю. Шмаков²

¹ВУНЦ ВМФ «Военно-морская академия» им. Н.Г. Кузнецова

²НИЦ РЭВ и ФИР ОСИС ВМФ ВУНЦ ВМФ «Военно-морская академия» им. Н.Г. Кузнецова

В работе представлена методика моделирования СВЧ усилителя мощности S-диапазона в САПР Advanced Design System. Обсуждаются и сравниваются результаты компьютерного моделирования и испытания прототипа усилителя, построенного на основе созданной модели [1]. Дается оценка эффективности применения используемого метода разработки модели СВЧ усилителя.

В настоящее время при разработке СВЧ-устройств инженерами активно используются системы автоматизированного проектирования (САПР). САПР позволяют разработчикам провести моделирование устройств, применяя различные схемотехнические решения и анализируя разнообразные режимы работы СВЧ-устройств. САПР позволяют сократить время разработки СВЧ-устройств. На основе разработанной модели изготавливается прототип устройства, и измеряются его характеристики.

Возникает вопрос повторяемости характеристик полученных с использованием САПР и измеренных характеристик прототипа [2]. Повторяемость результатов зависит как от типа САПР, от качества моделей элементной базы, так и от методов моделирования, применяемых при разработке устройств.

В данной работе описан метод моделирования СВЧ усилителя мощности в САПР Advanced Design System (ADS). Моделирование усилителя проведено на основе компактной модели LDMOS-транзистора [3] BLS6G2735L-30 S-диапазона, предоставленной компанией Ampleon. На основе данных моделирования был изготовлен опытный образец усилителя мощности и проведены измерения его характеристик.

В таблице 1 представлены требуемые характеристики, которым должен удовлетворять разрабатываемый усилитель.

Таблица 1

Характеристика усилителя	Требуемые значения
Рабочий диапазон частот, ГГц	2,7 – 3,5
Коэффициент усиления, дБ	12, не менее
Уровень выходной мощности, дБм	44, не менее
КПД, %	40, не менее
Неравномерность АЧХ, дБ	1,6, не более

Представленный метод разработки усилителя мощности состоит из пяти этапов.

Первым этапом является составление электрической эквивалентной схемы цепей согласования (ЦС) транзистора с генератором и нагрузкой. Значения импедансов транзистора взяты из спецификации, предоставленной производителем, импедансы генератора и нагрузки равны 50 Ом. Эквивалентные схемы состоят из аналитических микрополосковых моделей (АММ), приближенно повторяющих свойства аналогичных электромагнитных структур. На данном этапе важна только структура ЦС а не её параметры, по этой причине никакая дополнительная настройка ЦС не требуется. На рис. 1 изображена выходная ЦС состоящая из АММ. Входная ЦС строится аналогичным образом.

Вторым этапом проводится оптимизация параметров АММ входной и выходной ЦС в отдельности. Для этого вместо транзистора используется нагрузка с эквивалентным импедансом. Таким образом, можно рассматривать два независимых линейных четырёхполюсника, оптимизируя их для достижения требуемых значений матриц S-параметров в рабочей полосе частот усилителя. Процесс оптимизации представлен на рис. 2. В качестве метода оптимизации используется метод градиентного спуска.

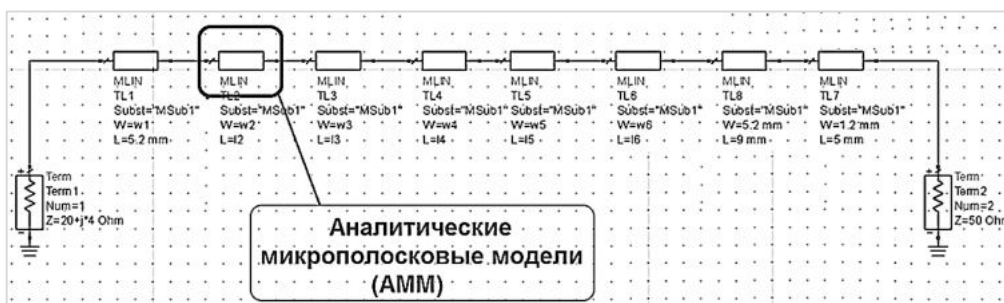


Рис. 1. Выходная ЦС усилителя, состоящая из АММ

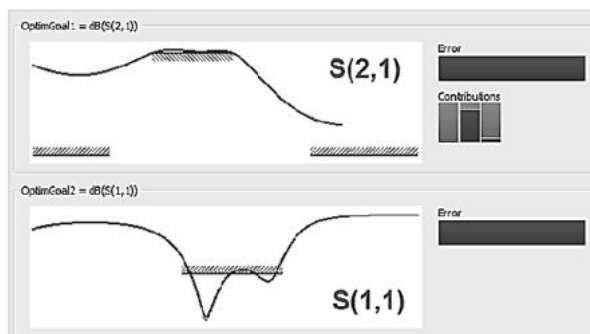


Рис. 2. Оптимизация значений матрицы S-параметров

Третьим этапом осуществляется автоматическая генерация электромагнитной модели (ЭММ) схем ЦС. Сгенерированная ЭММ дополняется цепями питания, заземляющими площадками и портами для подключения сосредоточенных элементов.

Далее производится расчет матрицы S-параметров ЭММ ЦС методом моментов, создаются модели ЦС, которые импортируются в поле схмотехнического анализа, как показано на рис. 3.

В поле схмотехнического анализа к ЭММ ЦС подключаются модели сосредоточенных элементов, компактная модель транзистора, 50 Ом нагрузка, генератор СВЧ сигнала, источники питания и прочие элементы.

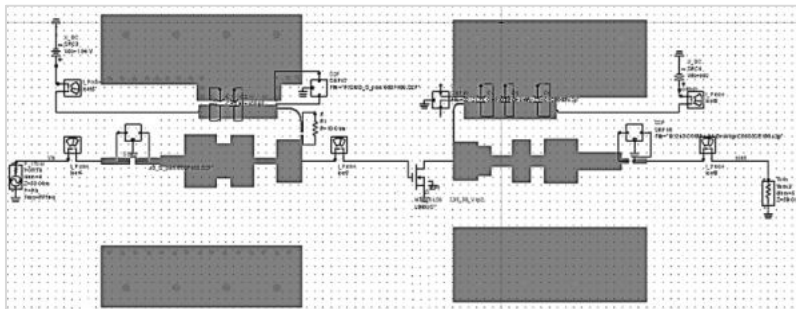


Рис. 3 Модель УМ в САПР ADS

Четвертым этапом является процесс оптимизации размеров ЦС ЭММ. Целью оптимизации является получение требуемых характеристик УМ, таких как выходная мощность, неравномерность АЧХ и КПД. Данный этап занимает самое продолжительное время, но обеспечивает получение наилучших характеристик.

На основе результатов оптимизации проводится корректировка геометрических размеров ЭММ ЦС.

Пятым этапом осуществляется расчет окончательной схемы УМ и получение ее характеристик. На четвертом и пятом этапах расчеты проводятся методом гармонического баланса [4].

На рис. 4 изображена амплитудная характеристика модели усилителя для трех значений частоты входного сигнала при следующих условиях:

- Диапазон входных мощностей: от 0 Вт до 4 Вт;
- Напряжение смещения: 1.96 В;
- Напряжение питания: 32 В.

На рис. 5 представлена зависимость коэффициента передачи усилителя от частоты, полученная в результате моделирования при следующих условиях:

- Уровень входной мощности: 33 дБм (2 Вт);
- Напряжение смещения: 1.96 В;
- Напряжение питания: 32 В.

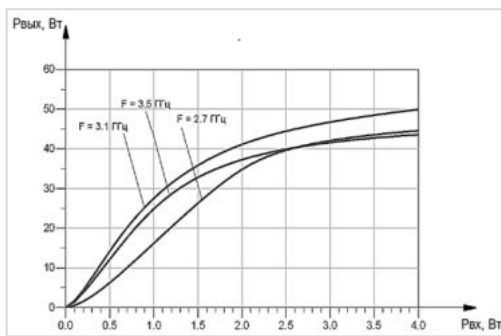


Рис. 4. Амплитудные характеристики модели усилителя

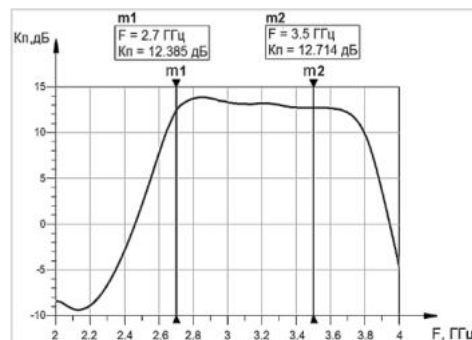


Рис. 5. Зависимость коэффициента передачи усилителя в диапазоне от 2 ГГц до 4 ГГц

На рис. 6 изображена зависимость КПД модели усилителя от частоты, полученная при следующих условиях:

- Уровень входной мощности: 33 дБм (2 Вт);
- Напряжение смещения: 1.96 В;
- Напряжение питания: 32 В.

На основе разработанной модели изготовлен прототип печатной платы усилителя на фрезеровальном станке ProtoMat S103 компании LPKF.

На рис. 7 представлено сравнение АЧХ, полученных в результате измерений прототипа и моделирования усилителя.

Результаты, полученные в ходе компьютерного моделирования и измерений прототипа УМ, представлены в таблице 2.

На основе представленной методики проведено моделирование СВЧ УМ S-диапазона на основе LDMOS-транзистора BLS6G2735L-30 компании Ampleon. Моделирование УМ проводилось с использованием компактной модели транзистора. Разработаны ЭММ схемы включения с помощью оптимизации параметров ЦС.

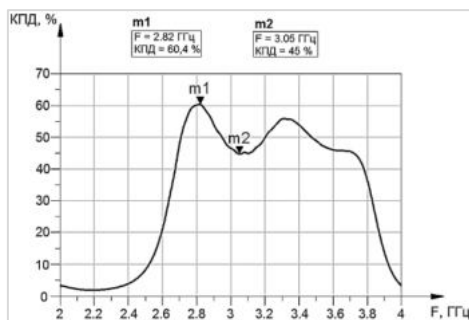


Рис. 6. Зависимость КПД модели усилителя в диапазоне от 2 ГГц до 4 ГГц

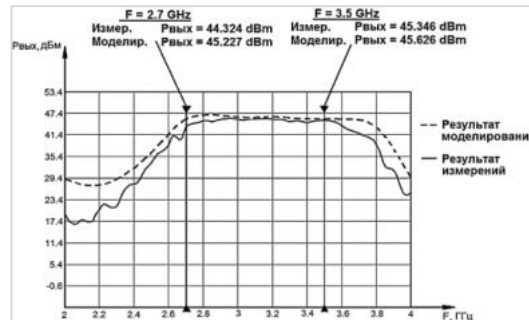


Рис. 7. Сравнение АЧХ, полученных в результате измерений прототипа и моделирования усилителя

Таблица 2

Параметры усилителя	Требуемые значения	Результат компьютерного моделирования	Результат измерений
Рабочий диапазон частот, ГГц	2,7 – 3,5	2,7 – 3,7	2,7 – 3,5
Коэффициент усиления, дБ	не менее 12	не менее 12,3	не менее 11,3
Выходная мощность, Вт	не менее 30	не менее 33	не менее 27
КПД, %	не менее 45	не менее 46	–
Неравномерность АЧХ, дБ	не более 1,8	не более 1.55	не более 1,6

Полученные характеристики модели усилителя представлены в таблице 2 и полностью удовлетворяют требуемым значениям. Изготовлен и измерен прототип усилителя. Характеристики, полученные в результате измерений, указаны в таблице 2. В диапазоне частот 2,7-2,8 ГГц выходная мощность (27 Вт) и коэффициент усиления (11.3 дБ) УМ не достигают требуемых значений. Данный недостаток устраняется путем использования элементов подстройки цепей согласования на плате УМ. Остальные измеренные характеристики прототипа соответствуют требуемым значениям.

Описанная методика моделирования СВЧ усилителей эффективна при разработке данных устройств. Она позволяет получить минимальное расхождение результатов моделирования и измерений.

Библиографический список

1. P. H. Aaen, J. A. Pla, and C. A. Balanis, Modeling techniques suitable for CAD-based design of internal matching networks of highpower RF/microwave transistors. IEEE Trans. Microwave Theory Tech., vol. 54, no. 7, pp. 3052–3059, July 2006.

2. *Mihai Albulet*, RF POWER AMPLIFIERS: Atlanta, GA, USA, pp. 23 – 40, 2001.
3. *Дидилев С.* Мощные LDMOS-транзисторы: преимущества и области применения // Компоненты и технологии. 2002. №2. С. 22 – 26.
4. *Блинников А.* Применение метода гармонического баланса при моделировании СВЧ цепей // Материалы III НПВК молодых ученых «Прикладная математика и информатика: современные исследования в области естественных и технических наук». Тольяти: 2017. С. 75 – 78.

УДК 004.413

КЛАССИФИКАЦИЯ СУЩЕСТВУЮЩИХ ЭКОСИСТЕМ ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫХ СРЕДСТВ С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ ОБУЧЕНИЯ И ЭКСПЛУАТАЦИИ НЕЙРОСЕТЕВЫХ КЛАССИФИКАТОРОВ

Т. А. Матвеев

Балтийский государственный технический университет «Военмех» им. Д. Ф. Устинова

В настоящее время существует множество направлений, требующих применения программных классификаторов. Такие классификаторы должны обладать способностью к достоверному определению класса рассматриваемого объекта при обеспечении требуемого быстродействия. Зачастую используются нейросетевые классификаторы (НСК), представляющие собой искусственную нейронную сеть, обученную, как правило, на заранее размеченных образцах классифицируемых объектов. НСК позволяют эффективно решать задачу классификации для различных категорий данных благодаря способности к обобщению и обнаружению сложных взаимосвязей между признаками и классами. Вместе с тем, развитие технологий интернета вещей приводит к необходимости решать задачу классификации на устройствах с различными вычислительными возможностями и программным обеспечением. В рамках данной работы исследуется возможность использования различных классов устройств для обеспечения работы нейросетевых классификаторов на разных этапах их жизненного цикла и создаётся классификация таких устройств с позиций взаимодействия с определёнными типами НСК.

Устройства, используемые в качестве носителя для нейросетевых классификаторов, могут отличаться как параметрами оборудования, так и программного обеспечения, причём зачастую выбор программных средств ограничен возможностями используемых аппаратных средств, что приводит к необходимости введения понятия экосистемы программно-аппаратных средств. Экосистема программно-аппаратных средств – совокупность программных и аппаратных решений, взаимодействующих между собой и дополняющих друг друга [1, 2]. Далее следует выделить этапы жизненного цикла НСК, имеющие значение для выбора целевой программно-аппаратной экосистемы. Такими этапами являются этап обучения нейронной сети и этап эксплуатации нейронной сети, когда НСК используется непосредственно для классификации поданных на вход образов.

Требования НСК к аппаратному обеспечению складываются из требований к памяти (для размещения структуры НСК, вспомогательных данных, а также классифицируемого образца, или набора образцов при обучении сети), вычислительному устройству (для проведения операций прямого распространения, а при обучении также операции обратного распространения или другой операции изменения весов) и возможностям приёма и передачи данных. Среди программного обеспечения, требуемого для работы нейросетевых классификаторов, наибольшее значения имеют различные библиотеки машинного обучения, реализация НСК без которых возможна, но значительно усложнена.

В рамках данной задачи НСК можно условно разделить на следующие категории:

- классификатор с небольшим числом скрытых слоёв (неглубокая нейронная сеть) и малым числом параметров (порядка 1 – 30);
- классификатор с небольшим числом параметров (порядка 30 – 100), и несколькими скрытыми слоями;
- классификатор с большим числом параметров и большим числом различных слоёв;
- классификаторы одного из указанных выше типов, требующие дообучения в процессе работы.

К НСК первой категории можно отнести классификаторы, обеспечивающие распознавание значительно отличающихся друг от друга классов объектов по отдельным специфичным признакам. Такими признаками могут служить скалярные показания датчиков или каким-либо образом записанные цифровые параметры. Теоретически, НСК на базе перцептрона с одним скрытым слоем может обеспечить распознавание классов любой сложности, но для этого может потребоваться число нейронов в этом слое, стремящееся к бесконечности [3]. К примерам задач, которые могут решать НСК такой категории можно отнести определение причины поломки прибора на основании показаний датчиков, определение объекта по цветовой метке, определение категории ситуации для принятия решения и определение жеста по последовательности показаний акселерометра.

НСК второй категории представлены компактными нейронными сетями, ориентированными на распознавание более сложных классов объектов по предварительно обработанному набору данных или большому числу специфичных признаков. В качестве входных данных для такого классификатора могут использоваться изображения с предварительно пониженным разрешением, векторы амплитудно-частотного спектра или наборы из большого числа показаний с датчиков (например, с матрицы датчиков температуры или расстояния). Примерами задач, решаемыми классификаторами этой категории являются задачи упрощённой классификации изображений, распознавания слова-активатора (и в определённой степени классификации команд), а также распознавание объекта по его карте высот (входные данные – показания матрицы датчиков расстояния).

Третья категория НСК наиболее крупная и включает в себя большинство применяемых на практике нейросетевых классификаторов. Размерность входных данных и количество различаемых классов здесь практически не ограничены, что позволяет достигать высокой точности распознавания с минимальной предварительной обработкой. С другой стороны, большое количество параметров (весов) таких сетей порождает высокие требования к аппаратным средствам, на которых обучаются и используются такие сети.

Классификаторы четвёртой категории обладают схожими свойствами с НСК рассмотренных ранее категорий, но требуют использования особых алгоритмов обучения или топологии для поддержания возможности непрерывного обучения. Обучение может происходить на устройстве (Lifelong learning, Learning without Forgetting [4, 5]), на некотором авторитарном сервере или на всех устройствах в совокупности с синхронизацией на сервере (федеративное обучение). Это накладывает дополнительные ограничения на используемые аппаратные и программные средства, а также может требовать использования дополнительного устройства и обеспечения связи с ним.

Для всех рассмотренных категорий НСК характерны значительно более высокие затраты времени и ресурсов на обучение, чем на распознавание класса [6]. Из этого можно сделать, что в рамках любой программно-аппаратной экосистемы, способной обеспечить функционирование НСК на этапе обучения, можно эксплуатировать готовый классификатор и наоборот, при невозможности эксплуатации готового классификатора невозможно и его обучение.

Исходя из указанного, выше можно выделить первую категорию устройств, основываясь на рекомендациях по выбору аппаратного обеспечения для обучения нейронных сетей [7], а именно рабочие станции с одним или несколькими графическими ускорителями и операционной системой общего назначения, поддерживающей работу с одной из распространённых библиотек для машинного обучения (TensorFlow, Caffe, Keras). Устройства этой категории

позволяют проводить адаптацию эталонных реализаций сложных нейросетевых классификаторов к предметной области за часы или дни, благодаря использованию графических ускорителей для обеспечения параллельных вычислений. Такие устройства могут также быть использованы в качестве авторитарных серверов для задач федеративного и централизованного обучения или обеспечивать классификацию данных, полученных от более слабых, дешёвых и энергоэффективных устройств. Фактическое отсутствие ограничений на размер моделей и входных данных, а также высокая производительность, позволяют использовать машины такого класса для любых задач, связанных с разработкой НСК.

Следующим по производительности является класс специализированных устройств для обеспечения машинного обучения «на краю». В этот класс входят одноплатные компьютеры с аппаратными ускорителями нейронных сетей, такие как Nvidia Jetson, RockPi N11, BeagleV, а также смартфоны на базе процессоров, которые также содержат ускорители машинного обучения. Эти устройства показывают сопоставимую производительность [8], а также обладают достаточным объёмом памяти для обеспечения функционирования большинства моделей первых трёх категорий в ходе эксплуатации, а также позволяют быстро обучать НСК первых двух категорий (обучение классификаторов третьей категории возможно, но требует слишком много времени). Как правило для устройств этой категории существуют библиотеки и компиляторы, позволяющие быстро развернуть обученный НСК и воспользоваться аппаратным ускорением. Так как поддержка нестандартных видов слоёв в таких системах может быть ограничена, равно как и возможность проводить дополнительное обучение, сделать вывод о совместимости этого класса аппаратно-программных экосистем с классификаторами четвертой категории достаточно сложно, но можно сказать, что на базе любого из устройств этой категории можно обеспечить непрерывное обучение с помощью по меньшей мере одного из указанных ранее подходов. То есть по меньшей мере можно обеспечить отправку данных на сервер для проведения очередного этапа обучения и успешно развернуть полученные обновлённые веса на краевом устройстве.

После специализированных устройств (с точки зрения совместимости с НСК) располагаются персональные компьютеры, не обладающие мощными графическими ускорителями. В эту категорию попадают как настольные, так и портативные компьютеры. На таких компьютерах можно комфортно обучать и использовать нейросетевые классификаторы первых двух категорий, а также эксплуатировать НСК третьей категории, обучение некоторых из которых на устройствах данной категории может занимать недели и месяцы. Для устройств этого класса экосистем как правило доступны инструменты разработки нейросетевых классификаторов, что означает удобство при их разработке и развёртывании. Для обучения НСК на устройствах этой категории можно использовать облачные сервисы, такие как Google Cloud Compute, предоставляющие в аренду устройства, принадлежащие к экосистемам первого класса. Обеспечение непрерывного обучения также возможно благодаря универсальности устройств рассматриваемой экосистемы, причём в зависимости от топологии НСК и количества параметров могут быть использованы разные подходы к такому обучению.

Следующим классом экосистем программно-аппаратных средств можно считать компактные и одноплатные компьютеры, обладающие пониженным энергопотреблением и, соответственно, мощностью. Представителями этого класса экосистем являются экосистемы таких устройств как raspberry pi, orange pi, VIM2 SBC, AML-S905X-CC и т.д. К этим устройствам можно подключить внешние датчики, многие из них также обладают возможностью передавать данные по сети. Для этого класса экосистем характерен достаточно большой объём оперативной памяти, что позволяет использовать их в качестве платформ для эксплуатации НСК первых трёх категорий. Классификация объекта для НСК третьей категории со сложной топологией может занимать достаточно большое время, что следует учитывать при выборе экосистемы для развёртывания классификатора. Обучение НСК третьего класса на устройствах этого класса экосистем нецелесообразно, если речь не идёт об использовании устройства в

качестве тонкого терминала к облачному серверу. Для этого класса может быть обеспечено непрерывное обучение, как и для предыдущего.

Следующим шагом в сторону уменьшения производительности аппаратных средств являются микроконтроллеры типа ESP32, nRF52840 (Arduino Nano 33 BLE Sense), RP2040 (Raspberry Pi Pico), обладающие объемом оперативной памяти порядка 256 Кб, и тактовой частотой процессора порядка 100-150 МГц. Экосистемы этого класса не подходят для локального функционирования НСК третьей категории, так как суммарный объем параметров таких сетей как правило превышает несколько мегабайт (в некоторых случаях сотни мегабайт) [8], что не позволяет разместить их в памяти контроллера. При этом работа НСК первого и второго классов возможна. Более того, в экосистемы данного класса входят различные библиотеки для поддержки машинного обучения и в частности НСК на микроконтроллерах, такие как TensorFlow Lite for Microcontrollers. С использованием подобных библиотек разработка классификаторов для платформ этого класса сводится к обучению НСК на устройстве одного из первых классов и экспорту параметров сети, которые потом используются для инициализации библиотеки на микроконтроллере. Кроме того, такие устройства могут быть использованы для сбора данных с датчиков, в том числе камер и микрофонов, и передачи их более мощному устройству для обработки. В этом случае сложность классификатора ограничена мощностью устройства обработки и размерностью входных данных, которые должны помещаться в оперативную память микроконтроллера. НСК с непрерывным обучением могут быть реализованы, но требуют отдельной проработки, так как в некоторых случаях может не быть возможности перезаписи весов во время работы по крайней мере без остановки работы на ощутимое время.

Последний класс экосистем – микроконтроллеры с малым объемом оперативной памяти, такие как ATmega328P (Arduino Uno) и esp8266 (Adafruit Feather Huzzah и другие). Для экосистем этого класса свойственны объемы оперативной памяти от 2Кб (ATmega328p) до 50-60Кб. Устройства у верхней границы этого класса могут обеспечить функционирование НСК первой категории и некоторых видов НСК второй категории, тогда как устройства у нижней границы требуют специального подхода даже для эксплуатации классификаторов первой категории, так как специализированные библиотеки не помещаются в такой объем оперативной памяти. Малый объем памяти также ограничивает возможности устройств, входящих в экосистемы данного класса с точки зрения передачи данных на более мощное устройство для дальнейшей обработки, в том числе и для обеспечения непрерывного обучения, что означает применимость данного класса лишь для некоторых видов НСК четвертой категории.

Подводя итог, можно сказать, что при уменьшении стоимости и размеров устройства, возможности применения этого устройства в качестве платформы для НСК также снижаются. Вместе с тем, в настоящее время существуют три класса экосистем программно-аппаратных средств, которые позволяют решать задачу классификации на устройствах с низким энергопотреблением и небольшой ценой. Принимая это во внимание, а также учитывая, что только один класс экосистем позволяет комфортно выполнять любые операции с нейросетевыми классификаторами, и этот же класс экосистем характеризуется наиболее высокой стоимостью, необходимо выбирать оптимальную программно-аппаратную платформу в каждом конкретном случае, тем более что почти все рассматриваемые экосистемы позволяют использовать уже обученный на другой машине НСК.

Научный руководитель – к.т.н., доцент А. Н. Гушин.

Библиографический список

1. *J. Bosch*. From software product lines to software ecosystem. [Электронный ресурс]. URL: https://www.researchgate.net/publication/220789544_From_software_product_lines_to_software_ecosystem (дата обращения 28.03.2021).

2. *K. Bicknell*. The technology ecosystem. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.baka.ca/blog/The-Technology-Ecosystem> (дата обращения 28.03.2021).

3. Neural networks: What can a network represent. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.cs.cmu.edu/~bhiksha/courses/deeplearning/Spring.2018/www/slides/lec2.universal.pdf> (дата обращения 29.03.2021).
4. Z. Li, D. Hoiem, IEEE. Learning without Forgetting. [Электронный ресурс]. URL: <https://arxiv.org/pdf/1606.09282.pdf> (дата обращения: 30.03.21).
5. G. I. Parisi, R. Kemker, J. L. Part, C. Kanan, S. Wermter. Continual Lifelong Learning with Neural Networks: A Review [Электронный ресурс]. URL: <https://arxiv.org/pdf/1802.07569.pdf> (дата обращения: 30.03.21).
6. Computational Complexity of Neural Networks. [Электронный ресурс]. URL: <https://kasperfred.com/series/introduction-to-neural-networks/computational-complexity-of-neural-networks> (дата обращения 30.03.2021).
7. A Full Hardware Guide to Deep Learning. [Электронный ресурс]. URL: <https://timdettmers.com/2018/12/16/deep-learning-hardware-guide/> (дата обращения 27.03.21).
8. Benchmarking Hardware for CNN Inference in 2018. [Электронный ресурс]. URL: <https://towardsdatascience.com/benchmarking-hardware-for-cnn-inference-in-2018-1d58268de12a> (дата обращения 29.03.21).

УДК 681.518.5

ПОДХОД К ДИАГНОСТИКЕ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ МЕТОДАМИ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ НАБЛЮДАТЕЛЯ СОСТОЯНИЯ

М. И. Надежин, О. В. Ширококов, Ю. В. Жигулина, В. И. Тимофеева,

Балтийский государственный технический университет «Военмех» им. Д. Ф. Устинова,

Введение. В связи с возрастающими в настоящее время требованиями к энергоэффективности, производительности, надежности исполнительных устройств робототехнических и мехатронных систем, наряду с их возросшей технической и технологической сложностью остро встают задачи точного и достоверного определения технического состояния исполнительных элементов мехатронных и робототехнических систем.

В настоящей работе рассмотрен подход к диагностике технического состояния синхронного двигателя с постоянными магнитами (СДПМ) методами машинного обучения с применением наблюдателя состояния. СДПМ находят широкое применение в качестве исполнительного элемента в мехатронных и робототехнических системах, рассчитанных на непрерывную работу в течение длительного времени на высокой скорости вращения.

Диагностика электрических дефектов. В работе рассматривается диагностика электрической части СДПМ, которая подвержена таким неисправностям как:

- межвитковые замыкания;
- межфазные замыкания;
- увеличение сопротивления фаз вследствие нагрева.

Перечисленные дефекты электрического характера являются наиболее часто встречающимися на практике [1].

Межвитковые и двойные на землю замыкания в обмотках электрических машин вызывают ряд негативных эффектов [2]:

- механические вибрации и магнитную дисбалансировку ротора;
- появление паразитных токов, протекающих через подшипники скольжения, что резко снижает ресурс подшипников и масла;
- появление больших электрических потерь;

- возникновение термического дисбаланса;
- перегрев закороченных витков, что может привести к пробое изоляции на землю с вероятностью второго замыкания на землю.

В настоящий момент времени существует широкое разнообразие методов диагностирования перечисленных выше неисправностей. Наиболее популярными являются методы:

1. на основе анализа годографа Парка межфазных токов [3];
2. на основе спектрального анализа квадратных токов в обмотках машины [4];
3. нейросетевые методы обработки вэйвлет-bh образов токов статора [5];
4. методы машинного обучения для обработки спектральных характеристик токов [6];

Наблюдатель состояния. Наблюдатель состояния используется для получения оценок параметров, характеризующих состояние рассматриваемой системы, максимально приближенных к их реальным значениям [7].

В данной работе в качестве наблюдателя состояния был использован расширенный фильтр Калмана (далее – фильтр). Применительно к электрическим машинам фильтр используется для решения задач различного рода, наиболее популярные из которых:

- бездатчиковое управление выходными координатами электродвигателей (скорость и положение вала);
- идентификация параметров электродвигателей;
- определение неисправностей электродвигателей.

При определении неисправностей ориентируются на выход амплитудного значения оцениваемого параметра из допустимой границы, после чего судят о наличии неисправностей [8].

Функционирование системы описывается уравнениями:

$$\begin{aligned}x(t_{i+1}) &= f[x(t_i)] + w(t_i), \\z(t_i) &= h[x(t_i)] + v(t_i),\end{aligned}$$

Функция f вычисляет состояние системы в момент времени $i+1$ по состоянию в момент времени i , функция h преобразует вектор состояния к виду, в котором измерения поступают на вход фильтра, $w(t)$ и $v(t)$ – соответственно, шум процесса и шум измерения на шаге i . Если обе функции f и h линейные, расширенный фильтр превращается в стандартный фильтр Калмана. Расширенный фильтр Калмана, как и стандартный, содержит два этапа: экстраполяцию (предсказание, predict) и обработку измерения (корректировка, correct) [6].

Предсказание (обновление оценок по времени):

$$\begin{aligned}\hat{x}_{k|k-1} &= \hat{x}(t_k); \\P_{k|k-1} &= P(t_k).\end{aligned}$$

Как результат решения дифференциальных уравнений:

$$\begin{aligned}\dot{x}(t) &= f(x, u, t); \\ \dot{P}(t) &= F_k P + P F_k^T + Q_k,\end{aligned}$$

где F_k — матрица первых частных производных (матрица Якоби), вычисленная в момент времени t_k по известному значению апостериорной оценки, Q_k — ковариационная матрица входных шумов.

Наблюдатель содержит в себе математическую модель СДПМ в координатах $d-q$ и принимает сигналы управляющих напряжений U_d, U_q в качестве входных параметров:

$$\frac{d}{dt} i_d = \frac{1}{L_d} u_d - \frac{R}{L_d} i_d + \frac{L_q}{L_d} p \omega i_q; \quad (1)$$

$$\frac{d}{dt} i_q = \frac{1}{L_q} u_q - \frac{R}{L_q} i_q - \frac{L_d}{L_q} p \omega i_d - \frac{L_d \omega}{L_q}; \quad (2)$$

$$\frac{d}{dt} \omega = \frac{1}{J} (T_e - T_f - F \omega - T_m); \quad (3)$$

$$\frac{d}{dt} \theta = \omega; \quad (4)$$

$$T_e = 1.5p[l i_q + (L_d - L_q) i_d i_q], \quad (5)$$

где i_d, i_q, u_d, u_q – токи и напряжения в подвижной системе координат; R – активное сопротивление фазы; L_d и L_q – индуктивности по осям d и q ; ω – скорость вращения вала двигателя; θ –

положение вала двигателя; ω – максимальное значение потокосцепления, J – момент инерции ротора, T_e – электромагнитный момент, T_f – момент сухого трения, F – коэффициент вязкого трения, T_m – момент нагрузки, p – число пар полюсов.

Наблюдатель использует напряжения u_d, u_q как входные воздействия для расчета вектора состояния $x = [i_d, i_q, \omega, \theta]^T$ по уравнениям(1 – 5).

Токи i_d, i_q используются наблюдателем как дополнительные измерения для корректировки оценочных i_d, i_q .

В настоящей работе наблюдатель использован для оценки внутренних параметров двигателя ($L_d, L_q, \lambda, J, R, T_m$) и выходных характеристик (i_d, i_q, ω, θ) – всего 10 величин. После оценки из каждого параметра были выделены признаки, характеризующие его во временной области:

1. Среднеквадратичное значение (СКЗ – skz);
2. Куртозис (kurtosis);
3. Пик-фактор (peak-factor – pf);
4. Клиренс-фактор (clearance factor – cf).

Из выделенных признаков составлена обучающая выборка (всего 40 признаков), по которой методом машинного обучения подготовлена модель

Разработка имитационной модели диагностики. В пакете MATLAB Simulink была разработана имитационная модель диагностики, включающая в себя СДПМ, блок управления и наблюдатель состояния (рис. 1).

В блоке Converter реализовано векторное управление СДПМ.

Один фильтр Калмана не может одновременно оценить более 2 внутренних параметров двигателя (зачастую корректная оценка даже одного параметра может вызвать проблему), вследствие чего был подготовлен блок фильтров (каждый фильтр оценивает свой параметр) – реализовано в подсистеме Kalman Filters.

В реальных системах работа наблюдателя ограничена частотой дискретизации измерительного оборудования, которая составляет десятки кГц. В связи с этим в имитационной модели частота дискретизации измеряемых сигналов и частота обновления оценок наблюдателя были выбраны величиной в 10 кГц при шаге решателя 10^{-6} с.

Корректность оценки переменных состояния представлена на рис. 2 (синим – характеристики двигателя, красным – наблюдателя).

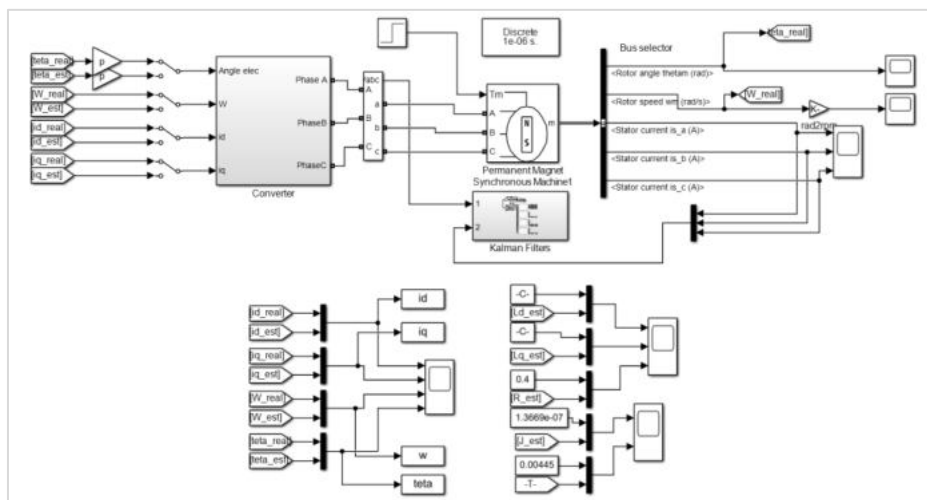


Рис. 1. Модель диагностики СДПМ в MATLAB Simulink

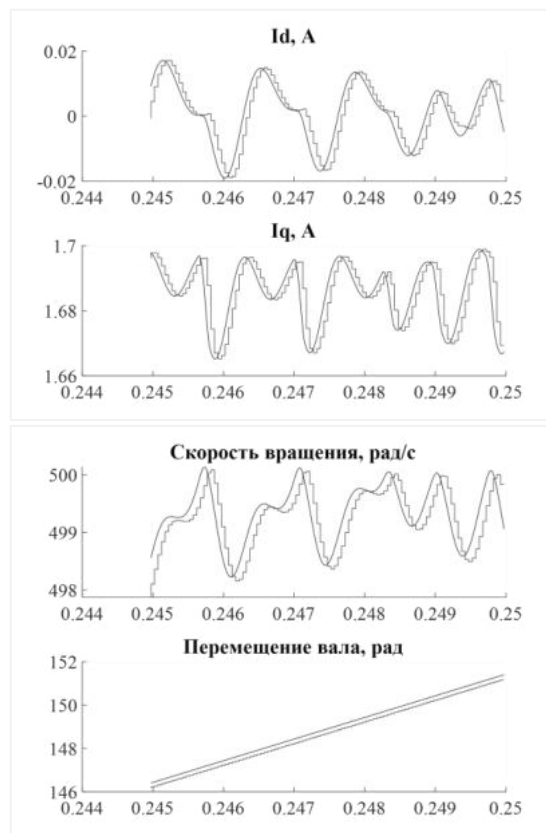


Рис. 2. Выходные характеристики двигателя (плавная характеристика) и наблюдателя (ступенчатая характеристика)

Для устойчивой работы фильтра и корректной оценки необходимо подобрать ковариацию (σ) для каждого оцениваемого параметра. В связи со спецификой решаемой задачи потребовалось вручную подобрать значение ковариации для каждой оценки:

$$\sigma_{id} = 0.1 \text{ A}^2, \sigma_{iq} = 0.1 \text{ A}^2, \sigma_{\omega} = 0.1 (\text{рад/с})^2, \sigma_{\theta} = 0.01 \text{ рад}^2, \sigma_I = 0, \sigma_{Id} = 0.01 \text{ Гн}^2, \sigma_{Iq} = 0.1 \text{ Гн}^2, \sigma_R = 0.1 \text{ Ом}^2, \sigma_{Tm} = 0, \sigma_{\gamma\gamma} = 10^{-6} \text{ Вб}^2.$$

Корректность оценки блоком фильтров внутренних параметров двигателя представлена на рис. 3. Прямая линия – фактическое значение, кривая – оценка.

Далее на модели была проведена серия опытов по моделированию неисправностей электрической части СДПМ:

1. исправный двигатель;
2. увеличение сопротивления фазы А;
3. увеличение сопротивления фазы В;
4. увеличение сопротивления фазы С;
5. межвитковые замыкания фазы А;
6. межвитковые замыкания фазы В;
7. межвитковые замыкания фазы С;
8. межфазные замыкания.

Полученные данные разбивались на тренировочную и тестовую части размером 2:1 соответственно. Далее каждая часть разбивалась на 30 и 15 кусков соответственно для получения большего количества данных. Из каждого куска для каждого оцениваемого параметра было вы-

делено 4 признака, после чего производилось формирование обучающей и тестовой выборки. Конечным шагом в подготовке данных было нормирование по каждому конкретному признаку.

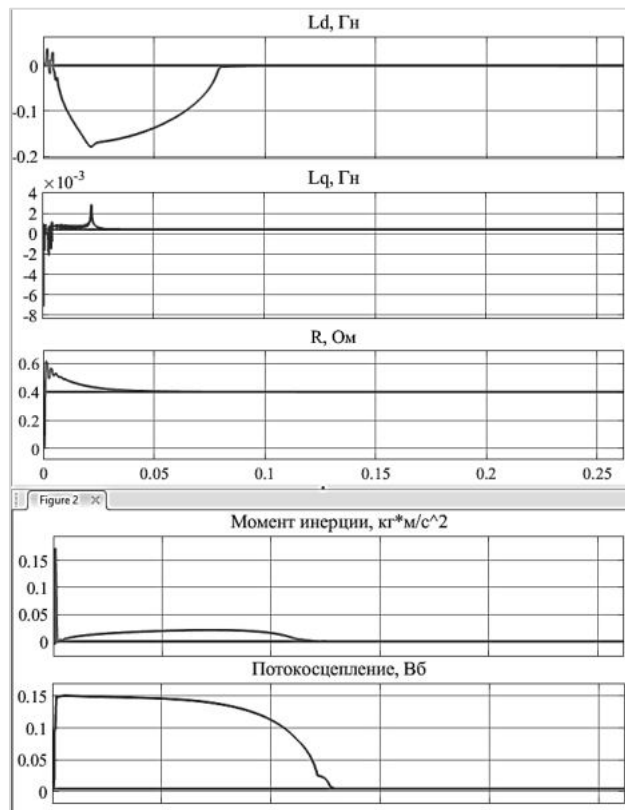


Рис. 3. Графики оценки параметров электродвигателя фильтром Калмана

Далее была проверена эффективность работы моделей классификации, обученных на подготовленных данных. Наибольшую точность работы показал метод линейного дискриминанта. Матрица несоответствия для него показана на рис. 4.

Общая точность модели составила 74,6%. По матрице несоответствия можно определить, что модель ошибается в определении межвитковых замыканий применительно к конкретной фазе. Отсюда следует вывод, что признаки, выделяемые из оценок фильтра Калмана, слабо отражают принадлежность дефекта к конкретной фазе двигателя. Вероятнее всего это связано с тем, что система уравнений, используемая наблюдателем для определения оценок, представлена во вращающейся системе координат $d-q$ и не может однозначно отобразить изменение параметров каждой конкретной фазы.

Выводы. Разработана имитационная модель диагностики электрической части СДПМ, реализована работа фильтра Калмана в качестве наблюдателя состояния для оценки выходных характеристик и внутренних параметров двигателя. Применены методы машинного обучения для диагностики состояния электрической части СДПМ по временным признакам оценок наблюдателя. Точность в 74,6% показал метод линейного дискриминанта.

По результатам сделан вывод о том, что оценки наблюдателя плохо отражают дефекты в конкретных фазах двигателя. Теоретически это можно исправить путем использования математической модели СДПМ в координатах $a-b-c$. В любом случае, требуются дополнительные

исследования для более конкретной оценки фильтра Калмана как способа для диагностики технического состояния электрических двигателей.

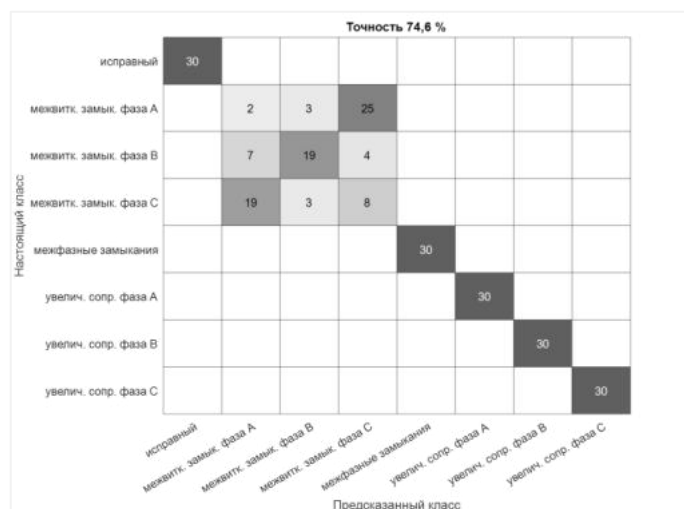


Рис. 4. Матрица несоответствия для линейного дискриминанта

Работа выполнена в организации ФГБОУ ВО БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д. Ф. Устинова при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (соглашение № 075-11-2019-077 от 13.12.2019) в соответствии с постановлением Правительства РФ от 09.04.2010 № 218.

Библиографический список

1. Носов В. В. Диагностика машин и оборудования. СПб: Лань, 2017. 376 с.
2. Матвеев С. А., Жуков Ю. А., Коротков Е. Б., Ширококов О. В., Надежин М. И., Ладыгин А. П. Обзор методов диагностики электронасосных агрегатов спутниковых платформ // Радиопромышленность. 2020. Т. 30. № 3. С. 86 – 98.
3. Ciprian H., Szabo L. Wavelet Analysis and Park's Vector Based Condition Monitoring of Induction Machines. Journal of Computer Science and Control Systems, 2011, vol. 4, no. 2, pp. 35–38.
4. Matveev S. A., Korotkov E. B., Zhukov Y. A., Slobodzian N. S., Gorbunov A. V., Tanklevskiy L. T. Diagnostic and Monitoring System for Technical Condition of Electromechanical Section of Thermal Control Systems in Spacecraft // International Journal of Mathematical, Engineering and Management Sciences, 2020, no. 5 (1), pp. 181–192.
5. Chuang C., Wei Z., Zhifu W., Zhi L. The diagnosis method of stator winding faults in PMSMs based on SOM neural networks. In: The 8th International Conference on Applied Energy – ICAE2016, 2017, pp. 2295–2301.
6. Надежин М. И., Ширококов О. В., Целищев И. А., Гончаров В. О. Применение методов искусственного интеллекта в задаче диагностики технического состояния привода электронасосного агрегата // В сб.: «Молодежь. Техника. Космос»: труды двенадцатой общерос. молодежн. науч.-техн. конф. В 4 т. Т. 3. СПб: БГТУ «Военмех», 2020. С. 112 – 117.
7. Лысухо Г. В., Масленников А. Л. Реализация расширенного фильтра Калмана для нелинейной модели двухзвенного маятника // Политехнический молодежный журнал. 2019. №08
8. Fault Detection Using an Extended Kalman Filter. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.mathworks.com/help/predmaint/ug/Fault-Detection-Using-an-Extended-Kalman-Filter.html> (дата обращения: 01.03.2021).

УДК 004.9

ОРГАНИЗАЦИЯ ПОЛНОГО ЦИКЛА ДОКУМЕНТООБОРОТА НАУЧНЫХ КОНФЕРЕНЦИЙ С ПОМОЩЬЮ СИСТЕМЫ «ЛАБОРАТОРИЯ КОНФЕРЕНЦИЙ» В УСЛОВИЯХ ПАНДЕМИИ

А. Ю. Новиков, П. П. Кейно

Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)

Проведение научных мероприятий часто сопровождается необходимостью создания и поддержки Web-ресурса, который содержит актуальную информацию для участников. Самой распространенной задачей является сбор статей участников и их рецензирование экспертным советом. Довольно часто для этих целей используют электронную почту, а модераторам приходится обрабатывать большой поток информации вручную. Второй ключевой задачей является компиляция выходного документа – сборника статей, которая так же в большинстве случаев выполняется вручную.

Разрабатываемый авторами проект – «Лаборатория конференций» позволяет автоматизировать рутинные задачи по сбору заявок участников, формируя по завершению готовый к печати в типографии сборник статей. Проведя на текущий момент более 20-ти мероприятий, определен список самых востребованных задач:

- Приём заявок на секции, поддержка различных типов полей, таких как текст, раскрывающийся список, чекбоксы, прикрепление файлов.
- Взаимодействие эксперта с участниками через личный кабинет, отправка заявки на доработку для внесения правок, утверждение или отклонение заявок.
- Генерация отчетов в виде табличных документов Excel.
- Награждение участников сертификатами, сохраняющимися в профиле участника.

Интерфейс личного кабинета эксперта конференции, а именно – список поданных заявок со статусами представлен на рис. 1.

Тема работы	Автор	Секц.	Ориг.	Дата изменения	Текущий статус	Управление
Разработка настольного приложения мониторинга статуса доменных имён с использованием Qt и языка C++	Алексеев А. А.	3-4	89%	02.04.2018 23:48	Утвержден	✓ ⓘ ✕ ➕
Разработка клиент-серверного программного комплекса тренажёра для подготовки специалистов-автомехаников на примере автомобиля Lada Vesta	Шандура К. А.	3-4	100%	02.04.2018 13:17	Утвержден	✓ ⓘ ✕ ➕
Партнёрская программа повышения лояльности	Сергунин И.	3-4	100%	02.04.2018 13:17	Утвержден	✓ ⓘ ✕ ➕
Разработка клиентской архитектуры системы мгновенных сообщений по технологии WebSocket	Горчаков А. Я.	3-4	100%	21.03.2018 13:38	Утвержден	✓ ⓘ ✕ ➕
Моделирование конструкции и технологии изготовления изделия - «Шпиндель металлорежущего станка с ЧПУ»	Ермилова Е. И.	3-4	100%	19.03.2018 11:44	Утвержден	✓ ⓘ ✕ ➕
Разработка информационной системы электронного документооборота при взаимодействии преподавателей и студентов.	Денисов Е. А.	3-4	95%	15.03.2018 23:08	Отклонено	✓ ⓘ ✕ ➕
Практический опыт применения систем оркестрации контейнеров в разработке программного комплекса на базе микросервисной архитектуры	Морозов К. О.	3-4	100%	15.03.2018 22:22	Утвержден	✓ ⓘ ✕ ➕
Алгоритм оценки благоприятной обстановки в крупных населенных пунктах	Морозов К. О.	3-4	100%	16.03.2018 22:29	Отклонено	✓ ⓘ ✕ ➕

Рис. 1. Интерфейс списка заявок мероприятия в системе ConfLab

Переходя на «Лабораторию конференций» повышается качество мероприятия, благодаря поддержке полного жизненного цикла конференции.

Важный этап, демонстрирующий удобство со стороны участника – это регистрация. Можно заметить, что на различных конференциях требуется схожий набор полей контактной информации, таких как фамилия, имя, отчество, электронная почта, город, организация, статус обучения (школьник, студент, аспирант, преподаватель), ученая степень и звание. Эта информация редко меняется, поэтому в проекте авторов вводится только один раз при регистрации на вспомогательном сервисе – «ConfID» [1]. В дальнейшем, при участии в различных мероприятиях, авторизация осуществляется по стандарту OpenID, получая необходимые данные профиля пользователя. Если вдруг информация изменилась, то профиль можно отредактировать. Изменения в таком случае коснутся только новых мероприятий, не затрагивая данные уже прошедших.

В результате, во-первых, экономится время на повторные регистрации, а во-вторых, участник, получая электронные сертификаты на конференциях, увидит их в своём профиле. Кроме того, сервис помогает создать библиографический список публикаций на основе данных о поданных ранее заявках. Проект имеет задел на будущее для работы с научными журналами, в которых так же необходимо принимать и рецензировать статьи, получая готовый сборник. Выходные данные статей так же могут импортироваться в профиль участника.

Схему интеграции сервисов «ConfID» и «ConfLab» (Лаборатория конференций) можно наблюдать на рис. 2.

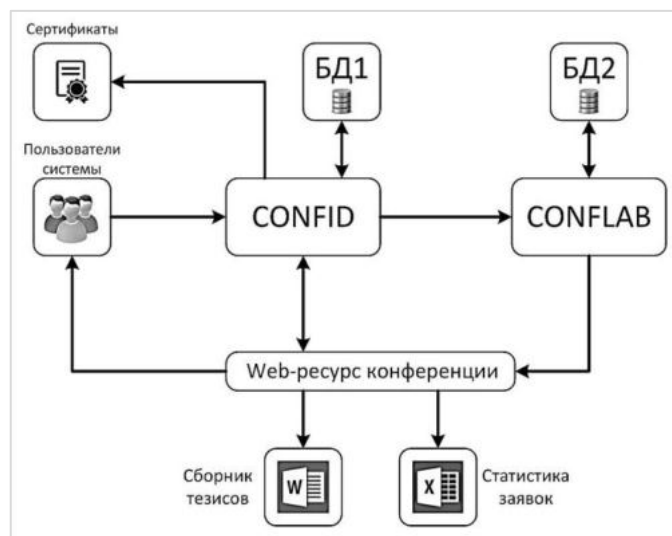


Рис. 2. Схема взаимодействия сервисов ConfID и ConfLab

Более подробно с архитектурными решениями можно ознакомиться в статье [2].

Эпидемиологическая обстановка внесла серьезные коррективы в нашу жизнь, накладывая ограничения на проведение массовых мероприятий. В связи с этим, формат проведения большинства запланированных научных конференций сменился на дистанционный. В результате, организаторам приходилось производить поиск решений для перехода на новый формат.

Широкое распространение получили сервисы Zoom, MS Teams. Однако, данные сервисы имеют некоторые недостатки. Ограничения числа участников и длительности сеанса, как в случае с Zoom, и недружественный интерфейс MS Teams.

Так же стоит отметить, что использование сторонних продуктов усложняет процесс регистрации пользователей, добавляя модераторам задачи сверки списка участников.

Ранее, еще до пандемии, авторы предполагали организацию онлайн видеоконференций как отдельный сервис, интегрированный в программный комплекс. В его функционал входило повышение доступности для участников, находящихся вдали от места проведения. В настоящее время актуальность расширения функционала в этом направлении лавинообразно возросла. В результате анализа было выбрано открытое программное обеспечение BigBlueButton, основная концепция которого в том, что «начало конференции должно быть настолько простым, как нажатие синей кнопки». Данное ПО выполнено в виде модуля видеосервера, что положительно сказывается на возможности интеграции с другими сервисами.

Подобные высоконагруженные сервисы необходимо размещать на отдельных серверах. Для проведения международной конференции с помощью разработанного авторами видеосервиса была произведена оценка требований к аппаратной платформе, в результате которой конфигурация выбрана следующая:

- Процессор: Intel Core i9-9900K 5.0ГГц;
- Оперативная память: 16Гб;
- Хранилище: 240 Гб SSD;
- Предустановленная ОС: Ubuntu 18.04.

Учитывая тот факт, что участники находились в разных странах, оптимальным было размещение в Нидерландах, поскольку в данном случае, сервер подключен к точке обмена трафиком AMS-IX, которая является частью единой телекоммуникационной магистрали, простирающейся по всему европейскому континенту, обеспечивая высоким уровнем доступности все города Европы. Это минимизирует задержки при передаче видео- и аудио-контента в режиме реального времени.

Duration, min	Local time	Caucasus	Siberia	Baikal	Kamchatka
Monday, September 14, 2020					
20	10:00-10:20	Opening (Juri Mazei, Nikolay S. Kasimov, Sergei A. Dobrolyubov, Alexander Khoroshev)			
60	10:20-11:20	Plenary session (Alexander Khoroshev, Christine Fuerst)			
10	11:20-11:30	Break			
120	11:30-13:30	Landscape heterogeneity and hydrological processes under change: observations, modeling, and outcomes	Mountain landscapes: indicators of climate changes and suppliers of ecosystem service	Landscape planning as a perspective tool for cooperation with nature: how to manage matter flows, emergent effects, and context-dependent values	Urban Green Infrastructure and Ecosystem Services
30	13:30-14:00	Break			
100	14:00-15:40	Stochastic and deterministic modeling of landscape structure: processes and metrics	Mountain landscapes: indicators of climate changes and suppliers of ecosystem service	Rural development and land use / land cover change: modern trends and major driving forces	Urban Green Infrastructure and Ecosystem Services
10	15:40-15:50	Break			
100	15:50-17:30	Stochastic and deterministic modeling of landscape structure: processes and metrics	Investigating degradation, desertification or simply land use change?	Rural development and land use / land cover change: modern trends and major driving forces	Objectification of subjective value and perception of a landscape

Рис. 3. Пример сгенерированной страницы расписания секций

Весьма востребованной является функция записи выступлений, которая даст возможность доступа к научным дискуссиям тем научным коллегам, кто по каким-либо причинам не смог присутствовать в режиме онлайн. В большинстве случаев такая задача решается публикацией записи на видеохостинг, что не всегда удобно для тех, кто хочет ознакомиться с выступлением только определенного докладчика. Поскольку реальное время презентации почти никогда не совпадает с регламентом конференций, предугадать точную временную метку не

представляется возможным. Поэтому для модераторов видеозала добавлен интерфейс управления метками. Во время проведения мероприятия имеется возможность добавлять временную точку, обозначающую, к примеру, начало выступления следующего докладчика. Затем, после завершения сеанса онлайн собрания выполняется нарезка видео и аудио потоков согласно интервалам, далее на фрагменты разбиваются слайды презентации, пометки, сделанные инструментами рисования, а также координаты курсора-указки. Далее, различные типы данных объединяются для каждого фрагмента, образуя ссылку, по которой можно воспроизвести запись для выбранного спикера.

Проведение международных конференций в режиме онлайн требует точной синхронизации времени проведения заседаний. Для этого предусмотрен механизм автоматической генерации программы мероприятий с учетом часового пояса участника. Внедрена поддержка нескольких видеозалов, а также режимы просмотра: общее расписание, программа по дням, программа по сессиям. Пример подобной страницы показан на рис. 3. Если пользователя заинтересовал определенный доклад, он может добавить его в избранное, в дальнейшем наблюдать список докладов, которые хотелось бы посмотреть.

В результате проделанной работы удалось провести различные конференции и, не смотря на действующие ограничения, а также закрытые границы, молодые ученые смогли успешно обменяться опытом, легко перейдя на дистанционный режим. В будущем некоторые организаторы планируют проведения смешанных форматов, совмещающая очный и онлайн форматы, поэтому разрабатываемый функционал будет весьма востребован.

Библиографический список

1. Новиков А. Ю., Кейно П. П. Разработка архитектуры интернет-сервиса организации научных мероприятий с автоматизацией документооборота // Прикладная информатика. 2018. Т.13. №4(76).
2. Новиков А. Ю., Кейно П. П., Хорошко Л. Л. Агрегирование разрозненных научных сообществ путём внедрения системы ведения портфолио в сервисе CONFID // Прикладная информатика. 2020. Т.15. №2(86).
3. Диметирев Р. Р. Методы генерации word-документов в веб-приложениях // Молодежный Вестник УГАТУ. Ежемесячный научный журнал. 2015. № 1(13).
4. Ветров А. А., Хаустов П. А. Визуальный редактор математических формул для систем электронного документооборота // Молодежь и современные информационные технологии: сборник трудов XIV Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, г. Томск, 7 – 11 ноября 2016 г. Т. 2. Томск: Изд-во ТПУ, 2016.

УДК 623.45 : 681.51 : 681.52

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ КОДИРОВАНИЯ ПРИ ПЕРЕДАЧЕ ИНФОРМАЦИИ ЧЕРЕЗ ИНДУКЦИОННУЮ ЛИНИЮ СВЯЗИ

Ю. В. Олейникова, А. И. Митюшов

Балтийский государственный технический университет «Военмех» им. Д. Ф. Устинова

Развитие науки и техники, а также внедрение в военную отрасль новых технологий и инновационных решений неуклонно влечет за собой увеличение темпа ведения боя, что, в свою очередь, предъявляет повышенные требования к точности стрельбы. Из-за постоянного изменения скорости цели, её координат, климатических условий и колебания начальной скорости

боеприпаса от выстрела к выстрелу, возникает необходимость введения в боеприпас информации актуальной на момент выстрела.

Данный способ передачи информации можно реализовать с помощью индукционной линии связи (ИЛС) между передающей катушкой, установленной на стволе, и приёмной катушкой в АИУС. Размещение элементов устройства ввода информации приведено на рис. 1.

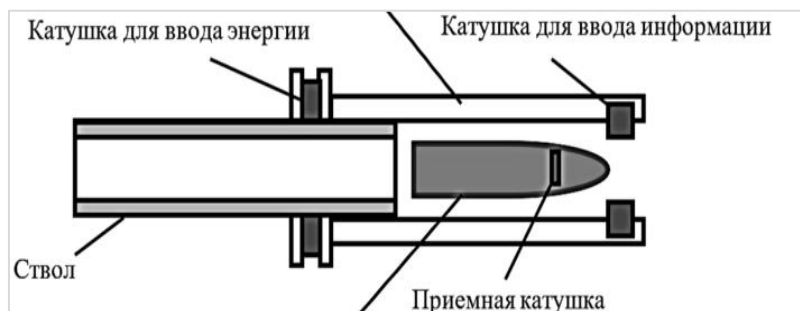


Рис. 1. Размещение элементов устройства ввода информации

Временной интервал, в пределах которого можно передавать информацию, ограничивается расстоянием взаимодействия $l_{вд}$ приёмной и передающей катушек, которое не варьируется от 7 до 15 см. Приняв скорость снаряда $V_c = 600$ м/с и $l_{вд} = 15$ см, получим максимальное значение времени, необходимое для передачи информации

$$t_{п} = \frac{l_{вд}}{V_c} = \frac{15 \cdot 10^{-2} \text{ м}}{600 \text{ м/с}} = 0,00025 \text{ с} = 250 \text{ мкс.}$$

Управление электронным устройством происходит кодированным сообщением, содержащим всю необходимую информацию. В данной статье проанализированы два метода кодирования: времяимпульсный метод и кодирование с помощью ортогональных функций.

Одним из наиболее эффективных методов передачи информации в устройство управления является времяимпульсный метод, реализующий зависимость

$$T_d = K \cdot t_y,$$

где t_y – временной интервал, формируемый аппаратурой управления при установке на временное устройство (ВУ) специального назначения, K – коэффициент кратности [2].

Данный метод прост в реализации преобразования ВУ АИУС временного интервала t_y во временной интервал T_d , что позволяет снизить требования к вычислительным мощностям ВУ, а точность отсчетов времени действия при установке по временному интервалу может быть выше стабильности параметров времязадающих элементов ВУ. Несмотря на существенное достоинство, данный метод содержит весьма ощутимый недостаток – с увеличением объема информации требуется не только повышение частоты обработки информации, усложняющее реализацию устройства, но и увеличение времени передачи данных, что недопустимо в рассматриваемом случае [1].

Принимая во внимание особенности фильтрующего устройства приемника и ограниченность полосы пропускания сигнала (200 Гц – 200 кГц) [3], время, затрачиваемое на передачу одного бита информации, составит

$$\Delta t_{бит} = 3 \cdot t,$$

где $t = k \cdot \frac{1}{f_{max}} = 5 \cdot \frac{1}{200 \cdot 10^3 \text{ Гц}} = 0,000025 \text{ с} = 25 \text{ мкс}$, следовательно, $\Delta t_{бит} = 75 \text{ мкс}$.

Таким образом, количество разрядов кода n , переданных за время $t_{п} = 250 \text{ мкс}$, равно

$$n = \frac{t_{п}}{\Delta t_{бит}} = 3.$$

Так как минимальное количество разрядов информационного кода должно быть больше или равно 20 [1], делаем вывод, что времяимпульсный метод при использовании ИЛС не эффективен.

Задача передачи кодированного сообщения в боеприпас решается применением преобразования сигнала с помощью ортогональных функций.

Если передаваемый сигнал $x(t) = U_m(t)$, т.е. сам является базисной функцией с номером m , то при его преобразовании в базисе $\{U_m(t)\}$ только один коэффициент не равен нулю

$$a_m = \frac{1}{C} \int_{t_0}^{t_0+T} x(t) \cdot U_m(t) dt = \frac{1}{C} \int_{t_0}^{t_0+T} U_m(t) \cdot U_m(t) dt = 1$$

Остальные коэффициенты в силу свойства ортогональных (1) функций будут равны нулю.

$$\int_{t_0}^{t_0+T} U_n(t) \cdot U_m(t) dt = \begin{cases} C, & \text{если } n = m, \\ 0, & \text{если } n \neq m. \end{cases} \quad (1)$$

Способ кодирования информации с помощью ортогональных функций заключается в сопоставлении каждой базисной функции с разрядом передаваемого кода. Информация передается в виде одного импульса длительностью τ_k , представляющего собой сумму базисных функций. После приема импульса находится массив коэффициентов разложения. Элементы массива не равные нулю соответствуют единице в передаваемом коде [3].

Базисные функций $\{U_m(t)\}$ представляют собой набор гармоник с кратными частотами

$$\{U_m(t)\} = \{\cos(\omega_m t + \varphi_m)\},$$

где $\omega_n = n \cdot \omega_1$, $\omega_1 = 2\pi/T$ – минимальная частота, имеющая один период на интервале разложения.

Выбор частот для передачи информации зависит от времени взаимодействия передающей и приемной катушек и для данного случая составляет $t_{\pi} = 250$ мкс. Тогда минимальная частота, имеющая один период на интервале времени передачи данных, примет значение

$$\omega_1 = \frac{1}{250 \text{ мкс}} = 4 \text{ кГц}.$$

Тогда при полосе пропускания, ограниченной $f_{max} = 200$ кГц, можно передать n разрядов цифрового кода

$$n = \frac{f_{max}}{\omega_1} = \frac{200 \text{ кГц}}{4 \text{ кГц}} = 50.$$

Так как для данной постановки задачи достаточно передать 20 разрядов цифрового кода, метод кодирования с помощью ортогональных функций наиболее эффективен при использовании ИЛС, имеющей ограничения по полосе пропускания и времени индукционного контакта.

Библиографический список

1. Материалы 3-й Всероссийской НТК. СПб: БГТУ «Военмех», 2013. С.77 – 82.
2. Шахмейстер Л. Е. Цифрочастотные и времяимпульсные преобразователи информации. М.: Изд-во КДУ, 2008. 252 с.
3. Ахмед Н., Рао К. Р. Ортогональные преобразования при обработке цифровых сигналов: Пер. с англ. / Под ред. И. Б. Фоменко. М.: Связь, 1980. 248 с.

М. Б. Падкин

Тульский государственный педагогический университет им. Л. Н. Толстого

В условиях информационного общества для любого человека поиск интересующей его информации становится простым и доступным. Было бы желание – даже не подготовленный пользователь сможет набрать или проговорить тему запроса, и поисковая система выдаст огромное количество сетевых источников, подходящих или не очень к объекту поиска. Беда в том, что сформулировать тему запроса так, чтобы результат был ожидаемым, может далеко не каждый. Более того, даже по результатам адекватного запроса зачастую пользователь не может правильно сориентироваться в пространстве информации, предоставленной ему на каком-либо сетевом ресурсе. Дело в том, что в повседневной жизни мы редко общаемся и мыслим четко очерченными формализованными языковыми смысловыми конструкциями. Чаще всего мы формулируем суждение в виде некоторого текста, в котором присутствуют слова «приблизительно», «что-то около», «чуть больше», «выше среднего» и т.п. Такие смысловые конструкции относятся к категориям нечёткой логики (fuzzy logic), которая в последнее время с успехом используется не только в поисковых системах, но и в формализованных базах данных.

Преодоление ограничений классической логики, условно делящей все суждения на истинные и ложные, интересовало человечество на протяжении столетий. Окружающий мир противоречив и сложен. Многообразие признаков, сущностей, понятий, характеристик невозможно «уложить» в простое знание о мире: хорошо-плохо, горячо-холодно, красиво-безобразно... Мир строится из полутонов, и достаточно часто нам явно не хватает двух логических значений. То и дело мы слышим высказывания, про которые нельзя сказать, истинны они или ложны. Обычной является ситуация, когда мы должны принять решение, либо не имея при этом всей необходимой информации, либо не зная степени достоверности этой информации. Поэтому что-то может оказаться гораздо ближе к истине, а что-то, наоборот, значительно дальше от нее. Более того, один и тот же объект в одних обстоятельствах и условиях может быть обозначен полным соответствием истине, а в других – абсолютным ей несоответствием. Подобные рассуждения наводят на мысль о несовершенстве классической логики с ее двужаночной шкалой и обосновывают попытки преодоления этого несовершенства.

Нечеткая логика строится на понятии нечеткого множества. Теория нечетких множеств рассматривается как формальная система, генерирующая суждения, которые относятся к сущностям, обладающим не полным набором признаков некоего класса или категории. С этой точки зрения нечеткое множество можно описать как множество с нечеткими, «размытыми» границами, в котором вопрос о принадлежности ему элемента решается на основе степени совпадения этого элемента с наиболее типичным представителем данного множества. Если построить некоторую функцию, определенную на отрезке $[0,1]$, и с ее помощью оценить степень принадлежности элемента множеству, то можно говорить, что значение функции равно единице соответствует точному попаданию элемента в множество, а ноль – точному непопаданию. Тогда все промежуточные значения из данного отрезка характеризуют степень принадлежности элемента данному множеству. Эти значения можно вполне определенно и формализовано связать с неточными, расплывчатыми формулировками как смысловых конструкций языка, так и поисковых запросов в реляционных базах данных.

Механизмы нечетких запросов к базам данных были предложены еще в 1984 году. Построение таких запросов основано на понятии лингвистических термов, в качестве которых могут выступать семантические конструкции языка. В термах могут присутствовать так называемые лингвистические модификаторы, способные их усиливать («очень») или ослаблять («приблизительно», «почти»). Формализуемые нечеткие понятия составляют совокупность

лингвистических переменных, для каждой из которой следует описать область определения и построить соответствующую функцию принадлежности. Например, мы описываем лингвистическую переменную «возраст преподавателя». Область определения для нее может быть обозначена как [22; 70], исходя из среднего возраста окончания вуза и усредненного значения возраста завершения трудовой активности. Три лингвистических термина для данной переменной можно задать тремя категориями: «Молодой», «Средний», «Старше среднего». Теперь если построить трапециевидальные функции принадлежности со следующими координатами: «Молодой» = [22, 22, 32, 38], «Средний» = [32, 39, 49, 54], «Старше среднего» = [46, 57, 64, 70], то в дальнейшем можно легко рассчитать степень принадлежности преподавателя конкретного возраста к каждому нечеткому множеству. Теперь эти значения в совокупности с особым образом определенными нечеткими логическими операциями могут быть использованы при построении нечеткого запроса к базе данных. Следует отметить, что к недостаткам нечетких запросов относится относительная субъективность функций принадлежности.

Наиболее перспективным является использование нечетких запросов в тех областях, где необходимо отобрать из базы данных необходимую информацию на основе качественных критериев и недостаточно четко сформулированных условий и ограничений. Ярким примером такого использования является прямой маркетинг. Не секрет, что продвижение товаров и услуг в значительной степени зависит от «подключения» к этому процессу как можно большей части так называемой целевой аудитории, т.е. тех, на кого прямо или косвенно направлено это продвижение. Степень подключения определяется тщательным отбором адресатов целевой аудитории. Если отбор будет произведен «спустя рукава», то расходы на прямой маркетинг могут оказаться существенно завышенными. Если же, напротив, отбор будет очень строгим, то может быть потеряно значительное количество потенциальных участников целевой аудитории. Например, в ходе некоторой рекламной кампании было установлено, что рекламируемая услуга максимально может заинтересовать многодетные семьи среднего возраста с доходом в месяц выше среднего. В этом случае для получения списка адресатов для рассылки рекламных материалов необходимо выполнить запрос к базе данных потенциальных клиентов. Если запрос формулировать традиционными методами, то он будет выглядеть следующим образом: выбрать все семьи с родителями в возрасте от 40 до 55 лет, имеющие не менее двух детей и доход в месяц от 200 до 900 тысяч рублей (цифры являются достаточно условными). Такие точно очерченные критерии запроса могут отсеять, например, семью с отцом 39 и матерью 38 лет, имеющую троих детей и доход 180 тысяч рублей в месяц. Хотя такая семья достаточно близка к целевой аудитории. Нечеткий запрос учтет данные ограничения и существенно раздвинет границы потенциальных представителей целевой аудитории для оказания различного рода услуг. Инструменты нечетких запросов к реляционным базам данных позволяют установить соответствие между неформальными требованиями к целевой аудитории и формальными критериями отбора представителей этой аудитории, задавая интервалы такого отбора в форме нечетких множеств. При этом следует учесть, что при построении нечетких запросов критерии отбора должны использоваться в совокупности, и невыполнение одного из критериев не должно служить поводом для игнорирования отдельной записи в базе данных, т.к. по совокупности остальных показателей данная запись может быть однозначно выбрана.

В процессе разработки программного приложения «Сайт музыкального училища» нами была разработана и реализована модель построения нечетких запросов для выбора преподавателя конкретному ребенку на основе небольшого опроса родителей. После выбора пользователем интересующих значений критериев отбора из выпадающих списков производится соответствующий запрос к базе данных, хранящей данные о каждом преподавателе. База данных состоит из двух таблиц: начальной и итоговой. Начальная включает информацию о фамилии, имени и отчестве преподавателя, его возрасте и трудовом стаже, инструменте и минимальном значении стоимости одного урока. Начальную таблицу обрабатывает триггер, проверяющий введенную информацию и присваивающий каждому преподавателю определенные коэффициенты в сфере опыта работы и стоимости занятия. Эти коэффициенты условно обозначаются

тремя термами: низкий, средний, высокий. Полученные коэффициенты оцениваются не по отдельности, а в совокупности, что дает основание для выбора определенного педагога для конкретного ребенка.

Запросы, в которых реализуется механизм нечеткой логики, являются своеобразным связующим звеном между логикой человека и логикой компьютера. Использование нечетких запросов в реляционных базах данных существенно упрощают поиск данных во многих сферах жизни цифрового информационного общества. Нечеткие запросы предоставляют эффективный аппарат для описания процессов интеллектуальной, умственной деятельности человека с присутствующими ей нечеткостью формулировок и неопределенностью смысловых конструкций языка.

УДК 321.383

МЕТОД СТАБИЛИЗАЦИИ ЧАСТОТЫ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ПАУНД-ДРЕВЕР-ХОЛЛА

Ф. М. Пелевин, В. И. Светличный

Балтийский государственный технический университет «Военмех» им. Д. Ф. Устинова

Измерительные устройства на основе лазерных технологий являются безальтернативными во многих областях науки. Точность проводимых измерений зачастую упирается в возможность используемого лазера работать на неизменной частоте. В реальной жизни не представляется возможным создать лазер, выдающий излучение строго на одной и той же частоте, однако можно компенсировать флуктуации параметров компонентов лазера в процессе его работы используя систему стабилизации частоты и повысить таким образом качество излучения.

Стабилизация частоты лазерного излучения достигается множеством разных способов и их комбинаций. В настоящей статье приводится описание принципа работы метода Паунд-Древер-Холла для стабилизации частоты лазерного излучения с помощью системы обратной связи. Данный метод позволяет обеспечить достаточный уровень стабильности излучения даже для наземных и космических устройств, предназначенных для обнаружения гравитационных волн [1]. При использовании метода Паунд-Древер-Холла, возможно достичь ширины лазерной линии в 40 мГц [2].

Метод Паунд-Древер-Холла базируется на довольно простой схеме. Флуктуации частоты излучения лазера определяются с помощью внешнего резонатора Фабри-Перо. На основе полученной информации об изменении частот производится автоматическая корректировка выходящего излучения на самом лазере с целью соответствовать значению собственной частоты внешнего резонатора, на котором и должна стабилизироваться система.

Одна из простейших методик стабилизации частоты излучения является, по сути, методом синхронизации мод при синхронной накачке. Работает она следующим образом: излучение настраиваемого лазера пропускается через резонатор Фабри-Перо, который играет роль оптического фильтра, после чего с помощью фотодетектора измеряется интенсивность прошедшего резонатор излучения. Так как интенсивность и частота связаны прямой пропорциональностью, изменения измеряемой интенсивности означают изменения и частоты излучения. Исходя из полученного детектором результата, источник накачки модулируется, тем самым компенсируя обнаруженные изменения.

У вышеприведенного метода существует ряд несовершенств, одно из которых — невозможность отличить изменение частоты излучения от изменения его интенсивности. Т.е. для более грамотного функционирования, необходимо использовать еще и систему стабилизации интенсивности. Но более изящным методом будет измерение интенсивности отраженного резонатором излучения и корректировка настроек лазера, направленная на удержание отра-

женной интенсивности на минимальном уровне. Таким образом, получается возможным разделить изменения частоты лазера от изменений его интенсивности. Единственная проблема в таком случае — невозможность сразу распознать больше или меньше измеренная частота в сравнении с необходимой (частотой резонанса).

Решением в этом случае станет намеренный сдвиг (модуляция) частоты с последующим определением знака производной функции измеряемой интенсивности. Если при повышении частоты производная функции интенсивности оказывается больше нуля (функция растет), то это значит, что исходная частота выше требуемой, резонансной. Если же при повышении частоты производная оказывается меньше нуля (функция убывает), то исходная частота ниже требуемой и необходима корректировка в сторону повышения исходной частоты (рис. 1).

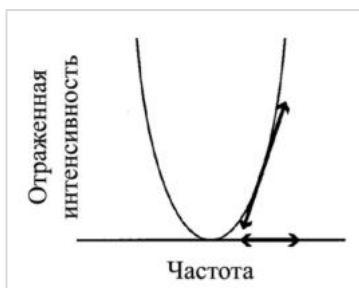


Рис. 1. Интенсивность отраженного от резонатора Фабри-Перо излучения как функция от частоты

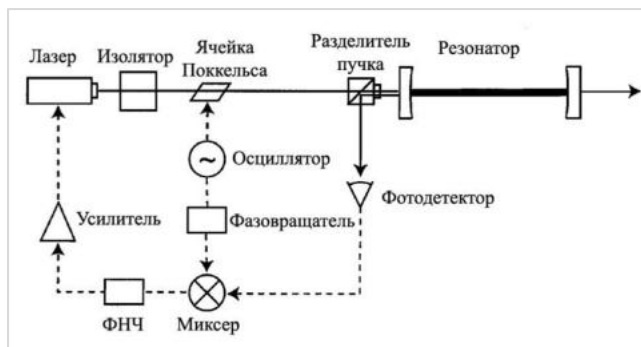


Рис. 2. Схема работы метода ПДХ. Сплошные линии – излучение лазера, прерывистые – электрический сигнал

Получив информацию о том, куда надо сдвинуть частоту для понижения отраженной интенсивности, можно отправить ее обратно в исходный лазер для стабилизации излучения на резонансной частоте. В этом и заключается основная идея метода стабилизации частоты лазерного излучения Паунд-Древер-Холла (ПДХ).

Подробная схема работы метода ПДХ изображена на рис. 2. Излучение лазера модулируется с помощью ячейки Поккельса, подключенной к осциллятору. Излучение проходит дальше через резонатор, и частично отражается обратно, попадая на разделитель пучка, который отводит отраженный свет на фотодетектор. Выходные данные фотодетектора перемножаются с частотами осциллятора ячейки Поккельса в миксере. Фильтр низких частот, на который поступает сигнал с миксера, отсекает лишние частоты, после чего сигнал проходит усилитель и попадает в модуль настройки лазера, который корректирует излучение по частоте [3].

Оптический изолятор, изображенный на схеме не нужен для понимания принципа работы метода ПДХ, однако он необходим в реальных условиях для предотвращения попадания отраженного излучения обратно в лазер, что негативно сказывается на возможности настройки прибора. Фазовращатель так же не является необходимой частью схемы для ее понимания, но на практике он нужен для компенсации сдвига фазы между осциллятором и ячейкой Поккельса.

Метод ПДХ работает только в том случае, если искусственный сдвиг частоты производится относительно медленно. В ином случае, график зависимости отраженной интенсивности от частоты будет отличаться в силу того, что свет в резонаторе не успеет «устояться». Несмотря на это, ПДХ работает и на довольно высоких частотах модуляции.

Далее, разберем основу математического аппарата метода ПДХ. Величина электрического поля входящего во внешний резонатор луча имеет вид:

$$E_{inc} = E_0 e^{i\omega t} \quad (1)$$

Электрическое поле отраженного луча:

$$E_{ref} = E_1 e^{i\omega t} \quad (2)$$

Учитываем разность фаз между двумя волнами, рассматривая E_0 и E_1 как комплексные величины. Коэффициент отражения $F(\omega)$ равен отношению E_{ref} и E_{inc} , и для симметричного резонатора без учета потерь будет иметь вид:

$$F(\omega) = \frac{E_{ref}}{E_{inc}} = \frac{r(\exp(i\frac{\omega}{\Delta\nu_{fsr}}) - 1)}{1 - r^2 \exp(i\frac{\omega}{\Delta\nu_{fsr}})} \quad (3)$$

где r – амплитуда коэффициента отражения каждого из зеркал, $\Delta\nu_{fsr} = c/2L$ – интервал между собственными частотами резонатора.

Луч, отраженный от резонатора состоит из «сразу отраженного луча», отразившегося от входного зеркала резонатора и «луча утечки», прошедшего в резонатор, отразившегося в нем от выходного зеркала и вышедшего из резонатора сквозь входное зеркало. Эти лучи обладают одинаковой частотой и почти равной интенсивностью, однако различаются по фазе, что зависит от исходной частоты излучения лазера.

Если проходящий луч идеально резонирует с резонатором Фабри-Перо, т.е. частота лазера кратна числу интервалов между собственными частотами резонатора, тогда «сразу отраженный луч» и «луч утечки» обладают одинаковой амплитудой, но различаются по фазе ровно на 180° , что ведет к тому, что отраженный луч полностью гасится.

Если же проходящий луч не идеально резонирует с резонатором Фабри-Перо, т.е. частота лазера не совсем кратна числу интервалов между собственными частотами резонатора, но при этом все равно образуется стоячая волна, тогда фазы «сразу отраженного луча» и «луча утечки» уже не различаются на 180° , и они не погасят друг друга. Этот новый, состоящий из двух других, луч и направляется разделителем пучка на фотодетектор, и именно по нему можно будет понять в какую сторону надо менять частоту лазера для получения полного резонанса.

Поведение функции $F(\omega)$ в комплексной плоскости изображено на рис. 4. Функция зависит от параметра ω , с его возрастанием, она описывает окружность против часовой стрелки. При достижении резонанса, $F = 0$, при приближении к нему, она движется к мнимой оси, если она находится ниже вещественной оси, то текущая частота лазера ниже резонансной, и наоборот.

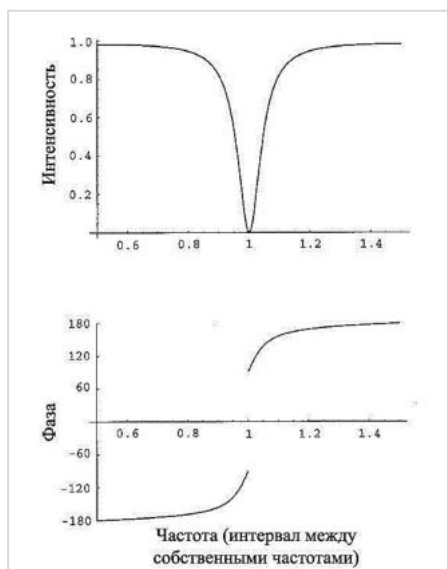


Рис. 3. Величина и фаза коэффициента отражения резонатора Фабри-Перо. Прерывание линии графика фазы происходит из-за идеального резонанса

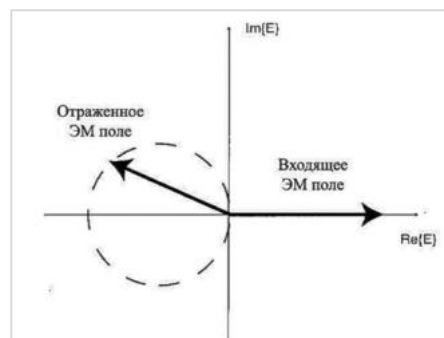


Рис. 4. Коэффициент отражения на комплексной плоскости.

При увеличении частоты лазера (или при увеличении длины резонатора), $F(\omega)$ описывает окружность по направлению против часовой стрелки. Большую часть времени F находится ближе к вещественной (Re) оси, в левой части окружности. Только при приближении к резонансу функция соответственно приближается к мнимой оси. Во время резонанса она принимает нулевое значение ($F=0$)

Чтобы сказать, выше или ниже реальная частота лазера относительно частоты резонанса, необходимо определить фазу отраженного луча. Напрямую измерить фазу, как и электрическое поле невозможно, поэтому необходимо проводить измерения косвенно, путем модуляции излучения.

Модуляция частоты (или фазы) излучения становится причиной появления боковых полос частот, обладающих определенной разностью фаз с входным и отраженным лучами. Если проинтерферировать эти боковые полосы с отраженным лучом, то их сумма даст представление о виде итоговых биений (рис. 5). По фазе этого биения можно определить фазу отраженного луча.

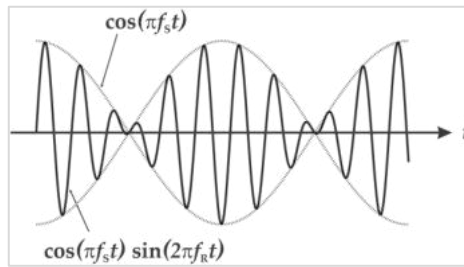


Рис. 5. Пример графика колебаний при биениях, периодическом увеличении и уменьшении суммарного сигнала двух периодических колебаний

Результаты фазовой и частотной модуляции, по сути, равны. Поэтому на практике, из-за того, что модуляция по фазе описывается более простым математическим аппаратом, применяют именно ее. В методе ПДХ фазовая модуляция производится при прохождении луча лазера через ячейку Пококельса, после которой напряженность электрического поля принимает вид:

$$E_{inc} = E_0 e^{i(\omega t + \beta \sin \Omega t)} \quad (4)$$

Это выражение можно расширить, используя функцию Бесселя [3]:

$$E_{inc} \approx [J_0(\beta) + 2iJ_1(\beta)\sin\Omega t]e^{i\omega t} = E_0 [J_0(\beta)e^{i\omega t} + J_1(\beta)e^{i(\omega+\Omega)t} - J_1(\beta)e^{i(\omega-\Omega)t}] \quad (5)$$

Эта запись напряженности электрического поля нужна для понимания того, что во внешний резонатор на самом деле поступают три луча: первый, несущий — на центральной частоте ω , и две боковые полосы с частотами $\omega \pm \Omega$. Здесь Ω — частота фазовой модуляции, а β — т. н. «глубина (коэффициент) модуляции». Так как мощность входного луча пропорциональна квадрату электрического поля ($P_0 \propto |E_0|^2$), мощность несущего луча с центральной частотой:

$$P_c = J_0^2(\beta)P_0 \quad (6)$$

Мощность каждого из лучей, относящихся к боковым полосам частот:

$$P_s = J_1^2(\beta)P_0 \quad (7)$$

При малых значениях коэффициента модуляции ($\beta < 1$), почти вся мощность P_c содержится в лучах боковых частот первого порядка, т.е.

$$P_c + 2P_s \approx P_0 \quad (8)$$

Чтобы рассчитать напряженность поля отраженного резонатором луча, состоящего из нескольких отдельных, необходимо умножить каждый из них на соответствующий по частоте коэффициент отражения. В случае ПДХ, когда отраженный луч состоит из основного, несущего, на центральной частоте и двух, относящихся к боковым полосам величина напряженности поля будет иметь вид:

$$E_{ref} = E_0 \quad (9)$$

Однако, так как фотодетектор распознает мощность излучения, нас интересует именно она. Соответственно, исходя из того, что $P_{ref} \propto |E_0|^2$, отраженная мощность будет равна:

$$P_{ref} = P_c |F(\omega)|^2 + P_s + 2\sqrt{P_c P_s} \{ \Re [F(\omega)F(\omega + \Omega) - F(\omega)F(\omega - \Omega)] \cos \Omega t + \Im [F(\omega)F(\omega + \Omega) - F(\omega)F(\omega - \Omega)] \sin \Omega t \} + (\text{члены выражения с } 2\Omega) \quad (10)$$

Итоговая волна, идущая на фотодетектор, является суммой несущей волны с частотой ω и двух волн с частотами $\omega \pm \Omega$, по которой можно определить паттерн биения этой самой итоговой волны. Члены выражения, помноженные на косинус и синус Ω (со сдвигом Ω), порождают интерференцию несущего луча с лучами боковых полос, а члены выражения с 2Ω – обозначают интерференцию двух лучей боковых полос. Нас интересуют члены выражения, относящиеся к промодулированному излучению (со сдвигом Ω), т.к. по ним можно определить фазу отраженного луча. Ими являются члены выражения, помноженные на синус и косинус. Получив измерение $F(\omega)F(\omega + \Omega) - F(\omega)F(\omega - \Omega)$ можно определить исходную частоту лазера.

Отраженная резонатором мощность измеряется высокочастотным фотодетектором. Результат этого измерения включает в себя все члены выражения P_{ref} , однако для определения частоты лазера нам нужно отсечь все части этого выражения, кроме тех, что содержат $\sin(\Omega t)$ или $\cos(\Omega t)$. Для этих целей в схеме и предусмотрен фильтр низких частот (ФНЧ) и т.н. миксера. При поступлении на миксер двух синусоидальных сигналов, результат его работы описывается следующим выражением:

$$\sin(\Omega t)\sin(\Omega' t) = \frac{1}{2}\{\cos[(\Omega - \Omega')t] - \cos[(\Omega + \Omega')t]\} \quad (11)$$

В миксер поступают два сигнала, один – на частоте модуляции Ω , другой – на частоте Ω' . На выходе миксер выдает два сигнала на частотах $(\Omega - \Omega')$ и $(\Omega + \Omega')$. Если Ω равно Ω' , тогда $\cos[(\Omega - \Omega')t]$ будет иметь прямолинейный вид (будет соответствовать постоянному току), то его можно будет изолировать от $\cos[(\Omega + \Omega')t]$ с помощью ФНЧ.

Следует отметить, что при поступлении на миксер синусоидального и косинусоидального сигналов, на выходе получаем

$$\sin(\Omega t)\cos(\Omega' t) = \frac{1}{2}\{\sin[(\Omega - \Omega')t] - \sin[(\Omega + \Omega')t]\} \quad (12)$$

В этом случае, при равенстве Ω и Ω' , ни один из результирующих членов выражения не будет иметь прямолинейный вид, т.е. сигнал ошибки пропадет. Чтобы этого избежать, в схеме используется фазовращатель. Устройство фазового сдвига (фазовращатель) необходимо для доводки сигнала модуляции, поступающего на миксер в тех случаях, когда фазы сигналов различаются.

Библиографический список

1. *A. Abromovici et al.*, «LIGO: The laser interferometer gravitational-wave observatory», Science 256, 325–333 (1992).
2. *Kessler, T; et al.* «A sub-40-mHz-linewidth laser based on a silicon single-crystal optical cavity» (2012).
3. *Eric D. Black* «An introduction to Pound-Drever-Hall laser frequency stabilization» American journal of physics 69, 79 (2001).

УДК 621.372.2

ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ЭКРАНА НА ХАРАКТЕРИСТИКИ КОПЛАНАРНОЙ ЛИНИИ ПЕРЕДАЧИ

Д. О. Перминов

Балтийский государственный технический университет «Военмех» им. Д. Ф. Устинова

Введение. На сегодняшний день известно, что электромагнитное излучение не только наносит вред здоровью человека, но и может создавать помехи работе электронного оборудо-

вания. Более серьезное влияние имеет утечка информации, вызванная электромагнитным излучением. Для предотвращения вышеописанных явлений используется электромагнитное экранирование. Электромагнитное экранирование остается наиболее широко используемым подходом для борьбы с электромагнитными помехами. В данной работе рассматривается вопрос влияния экрана на характеристики линии передачи. Рассматриваются следующие характеристики: коэффициент стоячей волны (КСВ), вносимые потери, распределение поля в линии. Эксперимент проводится посредством полномерного электромагнитного моделирования. Метод проведения моделирования – анализ ближнего поля и поверхностных токов.

Вопрос экранирования СВЧ линий и компонентов ранее рассматривался в работах [1 – 4]. В данной работе проводится изучение влияния высоты и положения зазора между экраном и копланарной линией на КСВ и коэффициент передачи от входа 1 к выходу 2 S_{21} , в диапазоне частот от 0 до 12 ГГц. В качестве материала диэлектрической подложки выбран ламинат RT/Duroid 5870 толщиной 1 мм с диэлектрической проницаемостью $\epsilon = 2,33$. Выбор данного диэлектрика обусловлен низкой анизотропией коэффициента диэлектрической проницаемости, что делает материал оптимальными для СВЧ устройств, в которых дисперсия и потери должны быть минимизированы. Линия согласована на волновое сопротивление 50 Ом.

Общие сведения об экранировании. Прогресс в области электронных технологий и все более широкое использование коммерческих, военных и научных электротехнических изделий и электронных устройств вызвали проблемы электромагнитной совместимости и электромагнитных помех. Поэтому используют различные методы обеспечения электромагнитной совместимости. Одним из таких методов является экранирование. Экран выступает в роли физической границы, изолируя компоненты от помех и интерференции или ограничивая источники излучения в ограниченном объеме. В то же время экран может оказывать негативное влияние на характеристики линии передачи, что может привести к большим вносимым потерям и неразличимости сигнала. На рисунке 1 приведена структура изучаемой линии.

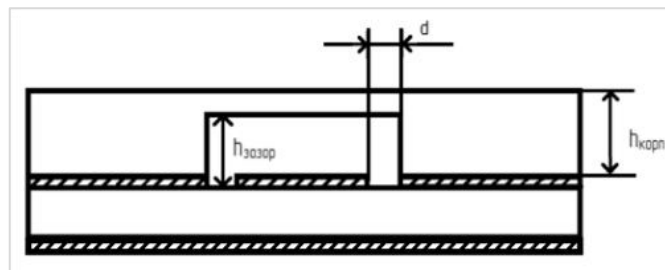


Рис. 1. Структура изучаемой линии

В корпусе делается вырез в виде канала. Основными изучаемыми параметрами являются расстояние между центральным проводником и боковой поверхностью канала d и высота зазора между копланарной линией и верхней поверхностью канала $h_{\text{зазор}}$.

Полномерное электромагнитное моделирование. Для анализа влияния корпуса на характеристики линии была построена исходная модель копланарной линии на диэлектрической подложке из материала RT/Duroid 5870 с диэлектрической проницаемостью $\epsilon = 2,33$, высота подложки равна 1 мм. На рис. 2, 3 приведено распределение вектора E напряженности электрического поля и поверхностного тока для модели с корпусом и без корпуса.

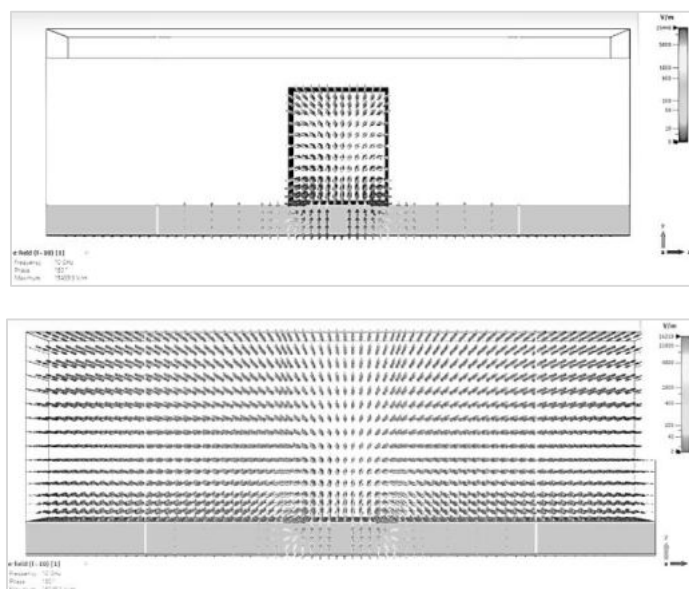


Рис. 2. Распределение вектора E напряженности электрического поля: 1) с корпусом; 2) без корпуса

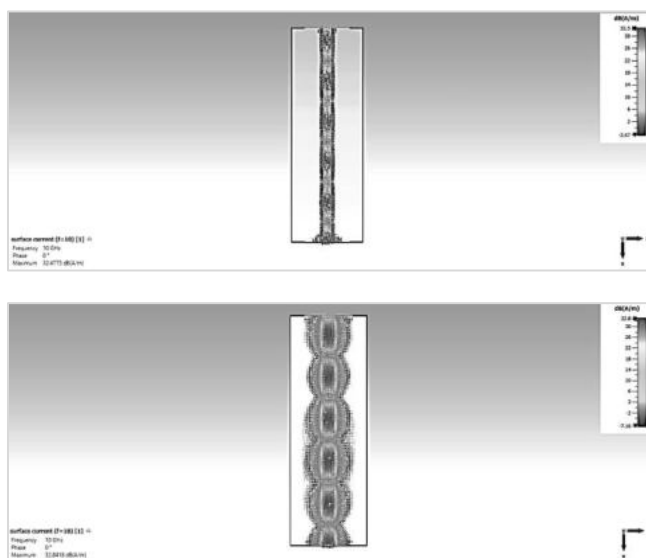


Рис. 3. Распределение поверхностного тока: 1) с корпусом; 2) без корпуса

Из приведённых рисунков видно, что при наличии в модели корпуса линии поля замыкаются на корпусе, который в данном случае является экраном для копланарной линии, а в модели без корпуса линии поля стремятся к земле подложки.

Изменяя высоту зазора $h_{\text{зазор}}$ снимем зависимость КСВ и коэффициента передачи S_{21} в рабочем диапазоне частот от высоты зазора корпуса, высота корпуса при этом остаётся фиксированной $h_{\text{корп}} = 5$ мм. На рис. 4, 5 изображены графики зависимости КСВ и коэффициента передачи от частоты, с высотой зазора 0.5, 1, 2, 3, 4 мм.

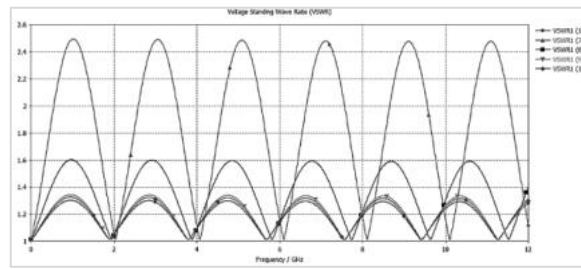


Рис. 4. График зависимости КСВ от частоты при различных величинах зазора $h_{\text{зазор}}$

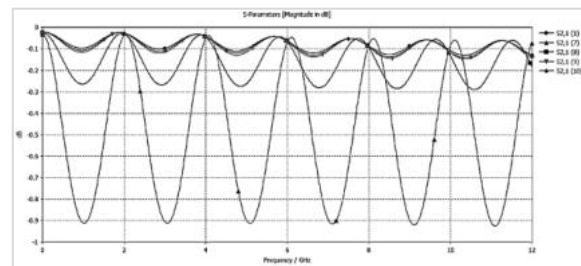


Рис. 5. График зависимости коэффициента передачи S21 от частоты при различных величинах зазора $h_{\text{зазор}}$

Для исследования влияния смещения канала корпуса на СВЧ-характеристики снимем зависимость КСВ и коэффициента передачи S21 в рабочем диапазоне частот от смещения канала корпуса относительно копланарной линии, высота зазора при этом фиксированная $h_{\text{зазор}} = 4$ мм. На рис. 6, 7 представлены графики зависимости КСВ и коэффициента передачи от частоты со смещением канала корпуса 0, 0.05, 0.1, 0.15, 0.2, 0.3 мм соответственно.

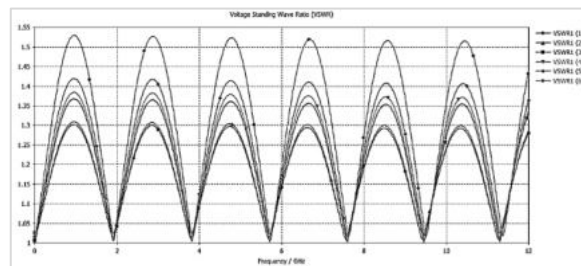


Рис. 6. График зависимости КСВ от частоты при различных величинах смещения канала d

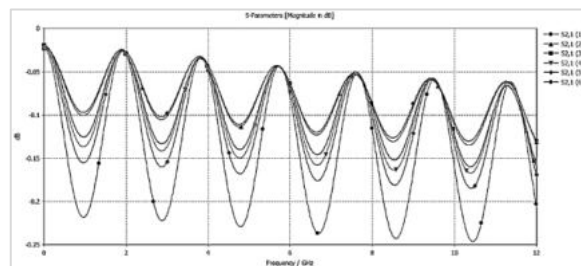


Рис. 7. График зависимости коэффициента передачи S21 от частоты при различных величинах смещения канала d

Для того чтобы проанализировать полученные результаты построим графики зависимости максимального КСВ и максимального значения вносимых потерь от высоты зазора $h_{\text{зазор}}$ и смещения канала корпуса d , графики представлены на рис. 8, 9 соответственно.

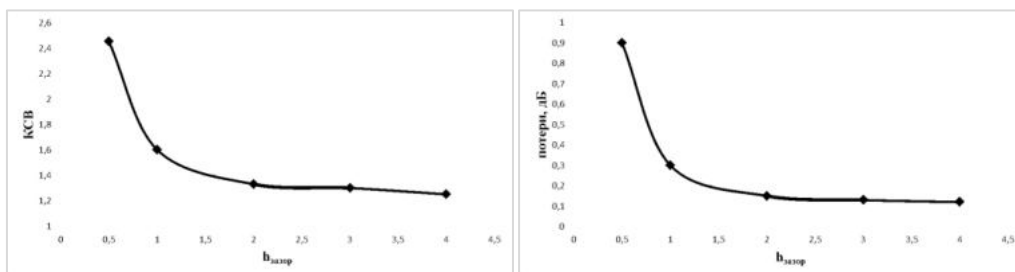


Рис. 8. Графики зависимости: а) максимального КСВ; б) максимального значения потерь; при различных величинах высоты зазора $h_{\text{зазор}}$

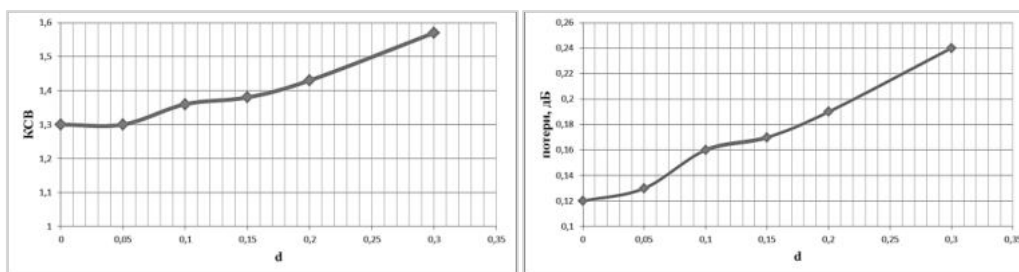


Рис. 9. Графики зависимости: а) максимального КСВ; б) максимального значения потерь; при различных величинах смещения канала d

Анализируя графики на рисунках 8 и 9 можно сделать вывод, что уменьшение зазора корпуса приводит к увеличению КСВ и увеличению вносимых потерь. До определённого значения зазора потери и КСВ практически не ухудшаются, а затем наблюдается резкий рост графика. При смещении канала корпуса наблюдается плавное ухудшение КСВ и увеличение вносимых потерь.

Заключение. В данной работе проведено исследование влияние экрана на характеристики копланарной линии передачи, на распределение поля и тока в ней. Исследования проводились на частотах 0-12 ГГц. Для выполнения поставленной задачи использовался метод полномасштабного электромагнитного моделирования с применением метода моментов. В качестве образца копланарной линии была построена модель линии на диэлектрической подложке из материала RT/Duroid 5870, толщина 1 мм, линия согласована на волновое сопротивление 50 Ом.

Из проведённых экспериментов можно сделать следующие выводы:

1. Корпус изолирует линию от помех и интерференции или ограничивает источники излучения.
2. Уменьшение зазора корпуса приводит к появлению резонансов в КСВ и увеличению вносимых потерь.
3. До определённого значения зазора потери и КСВ практически не ухудшаются, а затем наблюдается их резкий рост.
4. Смещение канала в корпусе приводит к равномерному ухудшению КСВ и увеличению вносимых потерь.
5. В диапазоне частот 0 – 12 ГГц высота зазора между копланарной линией и верхней поверхностью канала в корпусе должна составлять не менее 2 мм.

6. При правильном выборе высоты зазора – корпус не вносит существенных изменений в характеристики линии.

Библиографический список

1. G. Yuan-yuan, «Research of protection simulation on microwave weapons», 2013 3rd International Conference on Consumer Electronics, Communications and Networks, Xianning, 2013, pp. 513 – 516.

2. M. Perić et al., «Analysis of shielded coupled microstrip line with partial dielectric support», 2014 18th International Symposium on Electrical Apparatus and Technologies (SIELA), Bourgas, 2014, pp. 1 – 4.

3. J. Zhang, X. Zhang, D. Shen and A. A. Kishk, «Design of packaged microstrip line», 2016 IEEE International Conference on Microwave and Millimeter Wave Technology (ICMMT), Beijing, 2016, pp. 82 – 84.

4. L. Chang, G. Guo, M. Zeng and E. Li, «A shielding effectiveness test system based on microstrip line», 2015 IEEE International Symposium on Antennas and Propagation & USNC/URSI National Radio Science Meeting, Vancouver, BC, 2015, pp. 1184 – 1185.

УДК 004.421 : 519.7

ПРОГРАММНОЕ ПРИЛОЖЕНИЕ ДЕМОНСТРАЦИИ РАБОТЫ ГЕНЕТИЧЕСКОГО АЛГОРИТМА

А. А. Петров

Тульский государственный педагогический университет им. Л. Н. Толстого

Генетические алгоритмы, составляющие особый класс интеллектуальных технологий, давно и прочно входят в набор эффективных средств разработки информационных экспертных систем. Понятие экспертной системы здесь понимается нами как некий класс интеллектуализированных информационных систем, способных на основе знаний и правил вывода порождать новое знание так, как это может сделать человек на основе его естественного интеллекта и жизненного опыта. Не секрет, что генетические алгоритмы в совокупности с нечеткой логикой и технологиями программирования нейронных сетей предоставляют огромные возможности для решения актуальных задач проблемной области искусственного интеллекта. Так, например, распознавание образов часто требует быстрой реакции, и в том случае, когда нервная система человека бывает не в состоянии «узнать» объект, решение задачи передается в высшие отделы головного мозга. Аналогичным образом реагирует на воздействие внешней среды и нейронная сеть, обучаемая на основе генетических алгоритмов. При этом, сложные случаи, для которых вероятность ошибки распознавания достаточно велика, передаются для решения экспертной системе, работа которой основана на принципах нечеткой логики. Комбинация нечеткой логики и генетических алгоритмов находит широкое использование в различного рода системах поддержки принимаемых решений в условиях слабой формализации решаемых задач.

Традиционно под генетическим алгоритмом понимают класс процедур поиска решения, основанных на реализации механизмов эволюции и естественного отбора. Классический генетический алгоритм состоит из шагов инициализации или выбора исходной популяции хромосом, оценки их приспособленности, проверки условия останова алгоритма, селекции хромосом, применения генетических операторов, формирования новой популяции, выбора «наилучшей» хромосомы. Генетический алгоритм не программирует процесс решения задачи,

- он программирует сам себя. Многократные повторения отбора наиболее приспособленных особей из некоторой популяции, применение к ним механизмов скрещивания и мутации, в итоге способны получить такую популяцию особей, для которой степень выживаемости, приспособленности, а значит и близости к ожидаемому решению будет наивысшей. Таким образом, генетические алгоритмы используют информацию, накопленную в процессе эволюции. Они нашли широкое применение при решении задач оптимизации. Однако, с недавнего времени при помощи генетических алгоритмов можно весьма эффективно решать классические задачи программирования, трудоемкость которых сравнима с факториальной.

Одной из таких задач является задача коммивояжера, которая в классической формулировке выглядит следующим образом: имеется N городов, которые должен объехать коммивояжер по кратчайшему пути. При этом маршрут должен быть замкнутым (надо вернуться в город, с которого начато движение), и в каждом из городов коммивояжер должен побывать ровно один раз. В рассматриваемом нами случае расстояния между городами не являются входными данными, а вычисляются в процессе работы алгоритма, при этом между любой парой городов существует двусторонний путь. Входными данными служат: набор координат городов, т.е. их координатное расположение на карте (физическая система координат), а также другие параметры, необходимые для решения задачи с помощью генетического алгоритма. Выходными данными для программы являются длина наилучшего маршрута и отображение этого маршрута на карте.

Общая схема алгоритма работы программы может быть представлена последовательностью двенадцати взаимосвязанных шагов:

1. Загрузить в список координаты всех городов.
2. Найти и запомнить в списке расстояния от каждого города до всех прочих городов.
3. Найти и запомнить в списке номера соседей каждого города. При этом, соседями для некоторого города будем считать наиболее близко расположенные к нему города. Число соседей для каждого города является еще одной характеристикой, которую следует помнить.
4. Сформировать начальную популяцию хромосом. В нашем случае это список маршрутов.
5. Рассчитать приспособленности каждой хромосомы, как длину каждого маршрута.
6. Случайным образом выбрать из популяции несколько хромосом (маршрутов) и поместить их в рабочую группу. В качестве рабочей группы выступает массив.
7. Упорядочить рабочую группу (массив) по возрастанию приспособленности хромосом (длин маршрутов). Для сортировки желательно использовать метод, трудоемкость которого сопоставима с величиной $O(n \cdot \log n)$, т.к. данное обстоятельство существенно оптимизирует работу программного приложения. Такими методами могут быть быстрая сортировка, бинарная пирамидальная, а при достаточно большом количестве городов – сортировка слияниями.
8. Взять две первых наиболее приспособленных хромосомы (маршрута) из упорядоченной рабочей группы в качестве родителей и сформировать при помощи механизмов скрещивания и мутации, дочернюю хромосому (маршрут). В процессе скрещивания определяются наиболее приемлемые связи между городами, с которыми «согласны» оба родителя, вслед за чем родительские хромосомы встраиваются в дочернюю, порождая новый маршрут. Для реализации скрещивания необходимы дополнительные средства, при помощи которых определяется возможность построения маршрута между двумя городами. Мутация произвольно выбирает город и находит для него все связанные с ним города, встраивая прямые маршруты между выбранным и найденными городами.
9. Заменить в популяции наименее приспособленную хромосому (самый «плохой» маршрут) из рабочей группы на полученную дочернюю хромосому (построенный дочерний маршрут).
10. Вычислить приспособленность новой дочерней хромосомы (длину маршрута). В случае если эта приспособленность выше приспособленности текущей лучшей хромосомы (т.е. длина дочернего маршрута короче), заменить текущую хромосому на дочернюю.

11. Отобразить новый лучший маршрут на графической карте формы.

12. Перейти к следующей итерации алгоритма. При этом, если число итераций превысило некоторое заранее заданное константное значение, то алгоритм останавливается, иначе выполнение алгоритма повторяется с пункта 6.

Реализация данной схемы алгоритма требует использования динамических структур данных типа классов. В реализации языка C++ под классом понимается динамическая структура данных, включающая как статические свойства сущностей, так и их динамические характеристики (методы), реализующие способы реагирования объектов класса на внешние воздействия и ситуации. В нашем случае потребуется совокупность восьми классов, каждый из которых реализует основные шаги алгоритма:

1. класс, обеспечивающий хранение позиции каждого города, списка его соседей и списка расстояний от него до всех других городов;

2. класс, осуществляющий хранение информации обо всех городах в виде списка. Элементами этого класса являются объекты класса 1). Методы данного класса способны считывать данные о городах, а также определять соседей и вычислять расстояния до всех городов для выбранного города;

3. класс, необходимый для хранения данных о связях между городами. Для каждого города определяется город, из которого можно попасть в данный (назовем его предыдущий), и город, в который можно переместиться из выбранного (последующий);

4. класс, формирующий список для размещения в нем каждого города с указанием предыдущего и последующего городов;

5. класс, обеспечивающий формирования начальной популяции маршрутов в виде списка;

6. класс, устанавливающий аргументы события, при наступлении которого отображается на экранной форме наилучший в текущей ситуации маршрут. Этот класс является базовым для классов, обрабатывающих информацию о событиях, и формирует информацию для событий, не содержащих данные;

7. класс, координирующий решение задачи на основе генератора псевдослучайных чисел, списка городов и списка всех маршрутов. В этом классе определяется логическое свойство (индикатор), отвечающее за остановку алгоритма;

8. основной класс, отвечающий за отображение решения задачи в виде нанесенных точек – городов и построенного маршрута на форме программного приложения.

Для отображения начальных, промежуточных и итоговых результатов работы программы на экранной форме необходимо разместить и реализовать работу следующих компонентов:

А) область графического вывода, позволяющую отображать города и текущий лучший маршрут в виде точек, соединенных отрезками;

Б) экранные кнопки открытия и считывания файла с координатами городов, очистки карты, запуска и останова работы программы;

В) текстовые поля, необходимые для определения размера исходной популяции, задания значения вероятности мутации, определения количества итераций алгоритма, задания количества и вероятности городов-соседей, а также для задания пути к файлу с координатами городов;

Г) экранные метки, необходимые для отображения подписей для текстовых полей, указания значений последней итерации, лучшей протяженности маршрута, заданного числа городов.

Описанные компоненты реализации генетического алгоритма для решения и визуализации задачи коммивояжера позволяют сформировать программное приложение на языке C# (приложение Windows Forms) с удобным интерфейсом. Приложение обеспечивает простоту в использовании и наглядность представления полученного решения. Интерфейс и результаты работы приложения представлены на рис. 1.

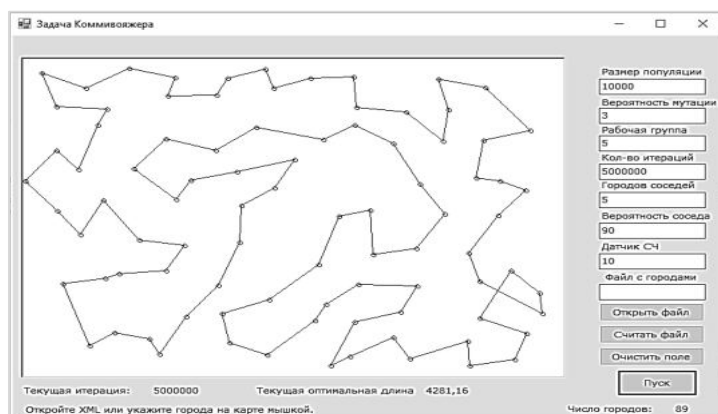


Рис. 1. Интерфейс и результат работы программного приложения демонстрации работы генетического алгоритма

УДК 621.391.812.7

ВОЗМОЖНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЧАСТОТНО-ИЗБИРАТЕЛЬНЫХ СВОЙСТВ АНТЕННЫХ СИСТЕМ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ИЗБИРАТЕЛЬНОСТИ РАДИОПРИЁМНИКОВ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

А. В. Петров, А. И. Прокопьев, М. В. Рыжов

Военно-космическая академия имени А. Ф. Можайского

Одной из проблем радиоприёма, препятствующих обеспечению передачи информации с требуемым качеством является не всегда достаточная избирательность радиоприёмных устройств. Для обеспечения подавления помех по соседним каналам традиционно применяется приём с преобразованием частоты, когда основная избирательность обеспечивается в тракте последней промежуточной частоты. Все остальные элементы приёмного устройства в этом случае выполняют вспомогательную функцию, что связано с особенностями частотной фильтрации на различных частотах и вытекающими из этого проблемами построения фильтров, сочетающих требуемую ширину полосы пропускания, значение коэффициента прямоугольности характеристики затухания фильтра основной избирательности близкое к единице, близкие к нулю потери энергии колебаний в полосе пропускания и их ослабление не менее заданного в полосе подавления (рис. 1) [1, 2].

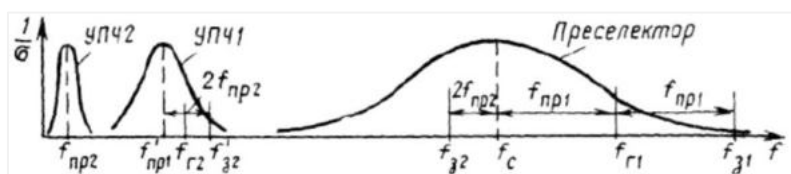


Рис. 1. Пример амплитудно-частотных характеристик избирательных систем супергетеродинного радиоприёмного устройства

Быстрый количественный рост группировки действующих искусственных спутников Земли и информационной производительности используемых аппаратов, с одной стороны, и ограниченных частотного, временного, пространственного (по направлению и дальности) ресурсов и возможностей поляризационного разнеса за счёт использования свойств антенных систем на космических и спутниковых радиолиниях заметно осложняется сигнально-помеховой обстановкой. При этом, на выходе антенно-фидерного тракта в смеси полезного и прочих, мешающих колебаний могут присутствовать помехи, не попадающие в полосу пропускания радиочастотной части тракта приёма, расположенной между антенно-фидерным трактом и, например, преобразователем частоты (преселектора), но обладающие достаточно большой мощностью, позволяющей проходить через него, сохраняя достаточно энергии (рис. 2).

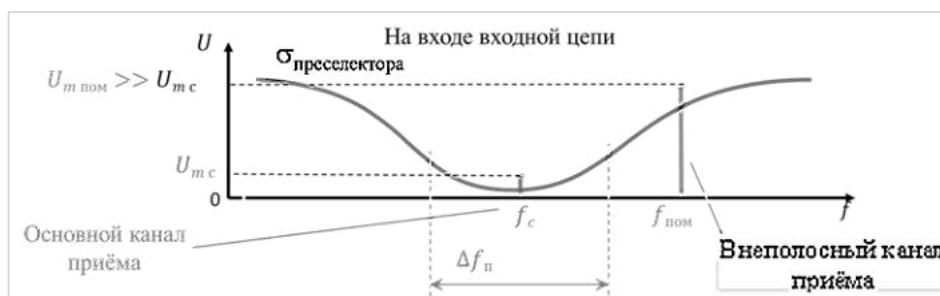


Рис. 2. Пояснение причины прохождения подавленной внеполосной помехи через входную цепь радиоприёмного устройства

Описанное приводит к возникновению линейных и нелинейных эффектов в активных элементах указанной части тракта прохождения сигнала — блокирования, перекрёстной модуляции или интермодуляции, при наличии двух и более помех такого рода — приводящих к сильному ухудшению качества радиоприёма. Таким образом, нормальное функционирование преселектора в условиях воздействия на него одной и более сильных помех, фактически определяет целесообразность дальнейшей обработки сигнала.

В традиционных схемах частотная избирательность преселектора обеспечивается практически исключительно входной цепью [1, 2]. На неё, в первую очередь, возлагается задача подавление помех по зеркальному каналу и другим побочным каналам приёма (рис. 3).

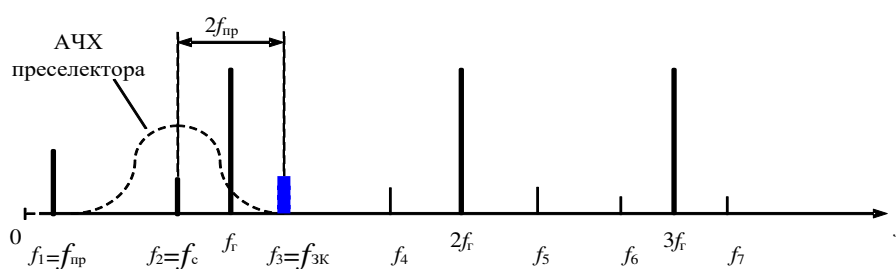


Рис. 3. Подавление входной цепью помех по зеркальному каналу и другим побочным каналам приёма

Входная же цепь блокирует воздействие на последующие устройства внеполосных помех. Предшествующий ей антенно-фидерный тракт, обладая значительно большей шириной полосы пропускания, в обеспечении односигнальной избирательности заметной роли не играет. Влияние его на обеспечение многосигнальной избирательности тоже невелико — по той же причине. Очевидно, что при получении возможности сужения полосы пропускания и полос

перехода антенной системы, суммарная с входной цепью характеристика избирательности обеспечит рост подавления внеполосных помех, а, значит, повысит устойчивость антенно-приёмного тракта к блокированию, перекрёстной и интермодуляции.

С указанной точки зрения, в первую очередь следует оценить возможности антенны, построенной на основе принципа Гюйгенса-Френеля – антенны Френеля. Такая антенна обеспечивает синфазное сложение электромагнитных волн в некоторой точке пространства в исключительно узкой полосе частот. Одновременно она обладает выраженными направленными свойствами. Описанные особенности антенны Френеля с точки зрения обеспечения избирательных свойств антенно-приёмного тракта являются её неоспоримым достоинством (рис. 4).

Однако применение такой антенны исключает возможность перестройки рабочей частоты радиолинии, так как для перестройки антенны Френеля на новую частоту потребуется, как минимум, формирование отражающих поверхностей, исходя из новой длины волны. Выход из сложившейся ситуации открывает отход от «классической» схемы её построения. А именно, замена широких относительно длины волны кольцевых элементов фокусирующей системы на совокупность узких колец с последующим разделением их на электрически короткие (на максимальной рабочей частоте) отрезки и введение в состав антенной системы у каждого из получившихся разрывов коммутационных элементов [3]. Такой способ построения АФ открывает возможность реализации отражающих поверхностей путём сборки из имеющихся отрезков в совокупностей узких колец (рис. 5).

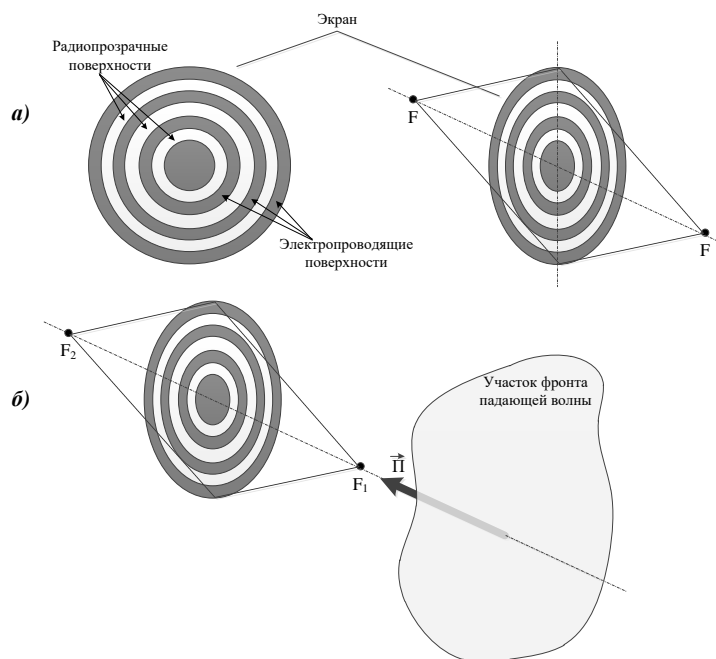


Рис. 4. Антенна Френеля

а) – устройство экрана; б) – пояснение принципа действия, здесь: F1 – фокус, в котором собираются синфазные ЭВМ, отражённые от проводящих поверхностей экрана; F2 – фокус, в котором собираются синфазные ЭМВ, прошедшие через радиопрозрачные поверхности экрана

Для повышения эффективности использования площади фокусирующей системы, как предложено в [3], из оставшихся отрезков должны собираться некольцевые переизлучающие элементы различной длины. На них возлагается задача формирования отражённой волны с дополнительным поворотом фазы, близким к π (рис. 6).

Такие переизлучающие элементы, обладая выраженной частотной зависимостью, требуют достаточно точного подбора длины. Наличие зависимости фазы вторичного излучения от частоты усиливает избирательные свойства АФ.

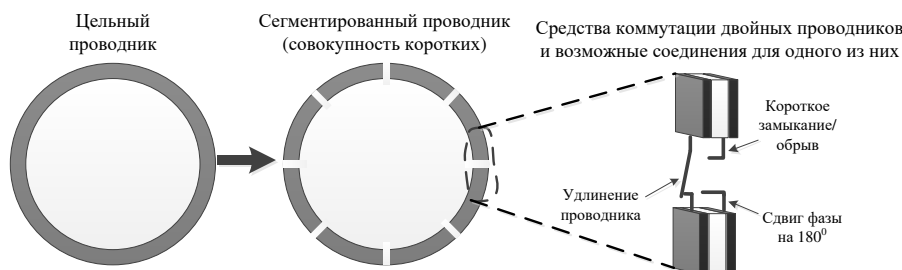


Рис. 5. Средства и варианты получения максимально близкого к синфазному сложения отражённых волн в фокусе антенны Френеля

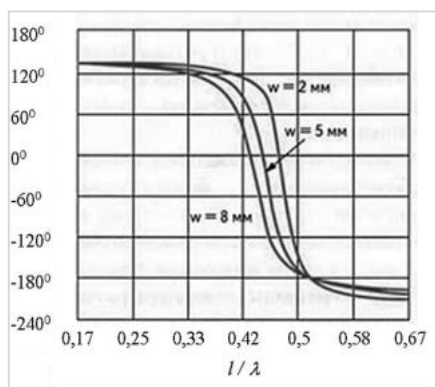


Рис. 6. Влияние изменения протяжённости проводников и их ширины в антенне Френеля на фазу отраженной волны

Опираясь на приведённые рассуждения, можно сделать выводы:

- о наличии нетрадиционных, потенциально эффективных способов защиты радиоприёмников от внеполосных помех;
- одним из возможных способов повышения многосигнальной избирательности радиоприёмников КА является совмещение в их антенных системах функций пространственной и частотной фильтрации;
- инструментом реализации описанного подхода может быть перестраиваемая по частоте АФ.

Библиографический список

1. Делик В. М., Межуев А. М., Каверина Л. В., Коновальчук Е. В. Радиоприемные устройства: учебник для ВВУЗов. Воронеж: ВУНЦ ВВС «ВВА», 2014. 558 с.
2. Колосовский Е. А. Устройства приема и обработки сигналов. Учебное пособие для вузов. М.: Горячая линия-Телеком, 2007. 456 с.
3. Маругин А. С., Орлов В. К., Демьянов А. В., Гриднев М. В. Управление частотной настройкой космической антенной системы // Вестник Российского нового университе.а, Серия «Сложные системы: модели, анализ, управление»). 2020. № 3. С. 66 – 74.

БОРТОВОЙ ОТВЕТЧИК СИСТЕМЫ УВД С УЛУЧШЕННЫМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ

Е. Д. Полулях

Балтийский государственный технический университет «Военмех» им. Д. Ф. Устинова

Еще недавно контроль воздушного пространства осуществлялся с помощью первичных радиолокационных станций (ПРЛ). Путем приема и обработки сигналов, отраженных от объектов, находящихся в зоне обзора, определялась так называемая первичная информация (азимут, дальность до ВС). Однако ПРЛ имеет ряд недостатков, таких как:

- слабая помехозащищенность (необходимость в особых способах обработки информации);
- невозможность определения высоты ВС;
- невозможность обнаружения ВС на больших дальностях (необходимость в большой импульсной мощности);
- невозможность идентификации самолета.

Перечисленные выше недостатки компенсируются в системах вторичной радиолокации (СВРЛ), используемые в аппаратуре управления воздушным движением (УВД). С их помощью осуществляется контроль и управление движением ВС в зонах аэродромов. Диспетчерский пункт благодаря СВРЛ имеет возможность получить информацию о ВС. Например, высота полета или государственная принадлежность ВС. Такая информация относится ко вторичной, откуда она и получила свое название. Вторичный радиолокатор (ВРЛ) – радиолокатор, получающий вторичную информацию. Система, включающая в себя ВРЛ и бортовой ответчик (СО) – системы вторичной радиолокации (СВРЛ).

Принцип работы СВРЛ (рис. 1) следующий: ВРЛ формирует запросные сигналы, которые состоят из некоторого количества ВЧ-импульсов с заданным временным интервалом, соответствующим типу запрашиваемой информации. Такие сигналы называют кодом запроса, ими осуществляется кодированный запрос ответчиков самолетов в зоне действия ВРЛ. Направленная вращающаяся в горизонтальной плоскости или в определенном секторе антенна радиолокатора, работающая как на прием, так и на передачу, излучает запросные коды в пространство. До тех пор, пока самолет находится в области главного лепестка диаграммы направленности (ДН) антенны, на бортовой ответчик поступают запросы.



Рис. 1. Принцип работы СВРЛ

Для того, чтобы исключить помехи, обусловленные передачей и приёмом сигналов по боковым лепесткам ДН антенны, ВРЛ оборудованы системой подавления боковых лепестков. СО принимает и обрабатывает запросный сигнал, а так же формирует и излучает. ВРЛ принимает «кодированную посылку» от СО и транслирует на аппаратуру определения координат самолета (дальность, азимут), а так же на индикаторные устройства командного диспетчерского пункта (КДП), отображая вторичную информацию (бортовой номер, высота, остаток топлива и пр.). Дальность и азимут определяются следующим образом: Время, через которое сигнал вернется обратно к ВРЛ определяется по формуле 1:

$$t_3 = \frac{2R}{c} + t_0 \quad (1)$$

где t_0 – время формирования ответа плюс обработка его в ВРЛ. Так как t_0 – известно, то t_3 зависит только от R . Азимут ВС определяется по углу поворота антенны ВРЛ.

Стоит отметить, что есть радиолокаторы, имеющие отдельные антенны на прием и передачу сигналов, находящиеся на расстоянии друг от друга. Особенность вторичной радиолокации – несущая частота ВРЛ отличается от несущей частоты СО. Обобщенная структура СВРЛ приведена на рис. 2.

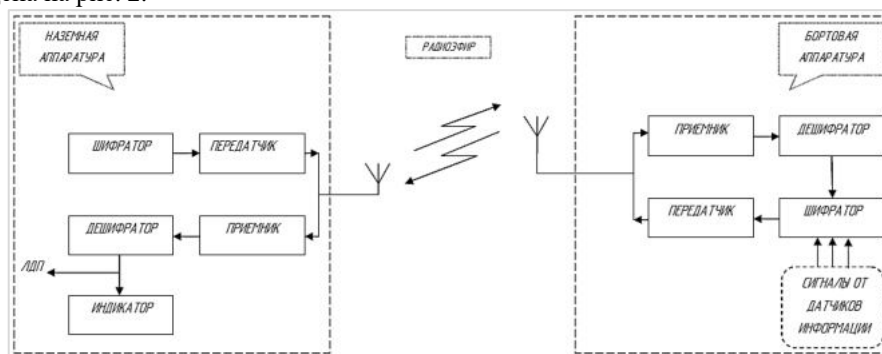


Рис. 2. Структура СВРЛ

Для передачи информации в УВД используется стандарт запросных и ответных сигналов ИКАО (Международной организации гражданской авиации) – это международный стандарт, иначе – режим RBS. В режиме RBS на запросный сигнал с ВРЛ реагируют все ВС, оборудованные ответчиками.

В условиях увеличенного потока ВС на аэродромах велика вероятность отображения ложной цели или ее пропуска по причине наложения сигналов от близкорасположенных ответчиков и прочего.

Сегодня самой современной системой УВД является система с адресным запросом (режим S), которая снимает данную и ряд других проблем. Так же к достоинствам данного режима можно отнести:

- огромное множество вариантов кодов идентификации (уникальных имен ВС);
- регулирование мощности передатчика в зависимости от дальности до ВС;
- регулирование частоты запросов.

Одним из наиболее важных устройств, входящих в СО, является фазовый демодулятор, используемый при декодировании информационной части запросного сигнала в режиме S.

Рассмотрим структуру запросного сигнала адресного режима, показанного на рис. 3.

Сигнал-запрос состоит из импульсов P1, P2 и P6. Первые два отвечают за подавление ответов от СО режима A/C, чтобы избежать случайные срабатывания от запросов в адресном режиме. Третий – фазомодулированный сигнал. Путем изменения фазы на 180град кодируется информационная часть. Изменение фазы происходит в момент времени, равный $N \times 0,25 \pm 0,02$ мкс. Значение передаваемого бита определяется наличием опрокидывания фазы.

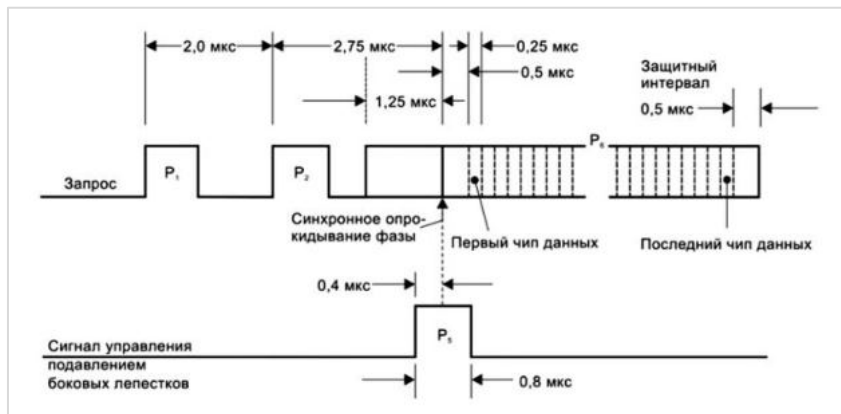


Рис. 3. Структура запросного сигнала адресного режима

Чипом данных является интервал между двумя изменениями фаз. Он представляет собой двоичную единицу или двоичный ноль. В первом случае – наличие опрокидывания в предыдущем интервале, во втором – его отсутствия. Длительность импульса P_6 может быть как $16,25 \pm 0,25$ мкс, так и $30,25 \pm 0,25$ мкс (56 или 112 бит данных). Как только произойдет первое изменение фазы – необходимо демодулировать чипы данных. Время изменения – $0,08$ мкс.

Сейчас рассматривается перспектива аналого-цифрового преобразования сигнала промежуточной частоты и фазовая демодуляция в цифре в процессоре или ПЛИС.

Например, для обработки сигнала на промежуточной частоте 60 МГц требуется аналого-цифровой преобразователь со скоростью $120 \cdot 10^6$ выборок/с (минимум для дискретизации сигнала данной частоты с возможностью последующего восстановления сигнала согласно теореме Котельникова). Такие АЦП будут недороги относительно АЦП, применяемых для сигнала на несущей частоте в 1030 МГц.

Вопросом дальнейшего исследования является реализация фазового демодулятора, исходя из анализа методов фазовой демодуляции и его аналогов на российском рынке.

Частично цифровой фазовый демодулятор реализован в СО-2010, разработанном АО «Навигатор». Структурная схема приемного тракта СО представлена на рис. 3.

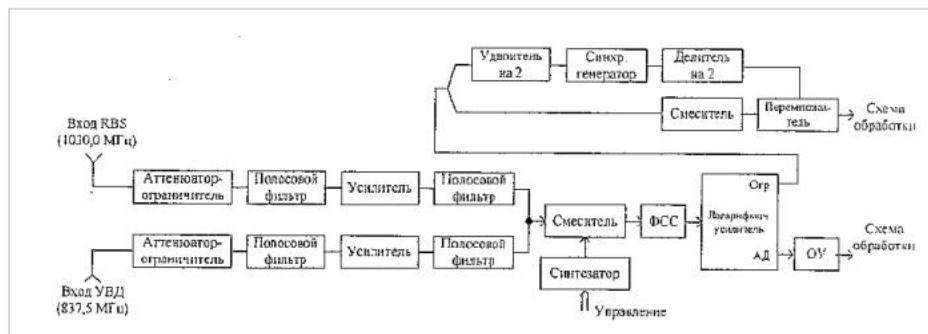


Рис. 3. Структурная схема приемного тракта СО-2010

Демодулятор (ветка Огр от лог.усилителя) построен на методе когерентной демодуляции сигнала. Восстановление когерентной несущей основано на схеме Пистолькорса, реализованной устройствами «Удвоитель на 2», «Синхронный генератор», «Делитель на 2».

В дальнейшей работе следует проанализировать возможные схемы построения демодулятора и выявить их преимущества над имеющимися.

Библиографический список

1. *Верещака А. И., Олянюк П. В.* Авиационное радиооборудование. Учебник для вузов. М.: Транспорт, 1996. 342 с.
2. *Гришин Ю. П., Ипатов В. П., Казаринов Ю. М.* Радиотехнические системы: учебник для вузов по специальности «Радиотехника». М.: Высшая школа, 1990. 496 с.
3. *Сидоров В. И., Чистяков Н. И.* Радиопередающие устройства. М.: Связь, 1974. 408 с.
4. *Хафизов А. В.* Системы вторичной радиолокации: учебно-методическое пособие. Кировоград: КЛА НАУ, 2013. 40 с.
5. Приложение 10 к Конвенции о международной гражданской авиации. Авиационная электросвязь. Т. 4. Системы наблюдения и предупреждения столкновений. Международная организация гражданской авиации, 2007.

УДК 621.373

ИССЛЕДОВАНИЕ СХЕМ ОПТОЭЛЕКТРОННОГО ГЕНЕРАТОРА И СРАВНЕНИЕ ПОЛУЧЕННЫХ СИГНАЛОВ

А. С. Разуваева, А. А. Ким

Балтийский государственный технический университет «Военмех» им. Д. Ф. Устинова

Высокостабильные узкополосные генераторы СВЧ излучения с низким уровнем фазовых шумов представляют большой интерес в области телекоммуникаций, прецизионных измерений, доплеровской радиолокации и некоторых других применениях [1, 2]. Перспективным направлением считается создание оптоэлектронных генераторов (ОЭГ) на основе радиотонного колебательного контура с обратной связью [3]. Ранее нами были опубликованы статьи с описанием результатов исследования одноконтурной схемы ОЭГ без полосовой фильтрации, на основе которых были получены зависимости частоты выходного сигнала и расстояния между модами от эквивалентной длины волоконно-оптического тракта.

В настоящее время работы по исследованию оптоэлектронных генераторов направлены на достижение наилучших параметров выходного сигнала. Качество сигнала оптоэлектронного генератора напрямую зависит от характеристик используемой элементной базы, кроме того параметры сигнала определяются схемой оптоэлектронного генератора. В данной работе описаны результаты исследования одноконтурной и двухконтурной схем с полосовой фильтрацией и без неё, проведено сравнение параметров выходных сигналов.

Лабораторная установка, используемая для исследования оптоэлектронного генератора, показана на рисунке 1. Основными компонентами схемы являются лазерный диод, электрооптический модулятор, волоконно-оптический тракт, балансные фотоприёмники и осциллограф. Основные характеристики элементов отражены в таблице 1 [4, 5, 6]. Максимальная частота генерации ограничена пропускной способностью фотоприёмников и в данных исследованиях находится в мегагерцовом диапазоне.

В результате исследования одноконтурной схемы без полосовой фильтрации (рис.2) был получен стабильный сигнал в форме меандра (рис.3), спектр сигнала показан на рис. 4.

Частота генерации определяется эквивалентной длиной контура, которая в свою очередь зависит от длины и показателей преломления волоконно-оптического тракта и коаксиальных

кабелей: $l_{\text{экв}} = (l_{\text{вол}} \cdot n_{\text{вол}}) + (l_{\text{каб}} \cdot n_{\text{каб}})$. В нашем случае эквивалентная длина равна 150 м. Частота первой моды ($k=1$) вычисляется по формуле:

$$f = \frac{kc}{2l_{\text{экв}}} = \frac{3 \cdot 10^8}{2 \cdot 150} = 1 \text{ МГц}$$

Расстояние между модами также зависит от эквивалентной длины контура и равна:

$$\Delta f = \frac{c}{l_{\text{экв}}} = \frac{3 \cdot 10^8}{150} = 2 \text{ МГц}$$

Таблица 1
Параметры элементов схемы

Параметры элементов ОЭГ	Значения
Длина волны лазерного источника	1550 нм
Длина волоконно-оптического тракта	100 м – для одноконтурной схемы 100 м и 1 м – для двухконтурной схемы
Частота модуляции ЭОМ	До 40 ГГц
Полуволновое напряжение ЭОМ	5,8 В
Полоса пропускания ФП	150 МГц
Усиление ФП	$10^4/\text{Вт}$
Частота фильтра	10,7 МГц

Как видно из спектра сигнала первая гармоника превышает уровень шума примерно на 42 дБ. Источниками шума в схеме ОЭГ являются шум фотоприемника, шум лазерного источника и дрейф электрооптического модулятора [3].

При исследовании одноконтурной схемы с полосовой фильтрацией (рис.5) использовался фильтр на 10,7 МГц. Полученный сигнал имеет треугольную форму (рис. 6), спектр сигнала показан на рис. 7. Основная гармоника на 10,7 МГц превышает уровень шума на 42 дБ. Также наблюдалась генерация гармоник меньшей амплитуды с частотами $3f = 32,1$ МГц и $5f = 53,5$ МГц.

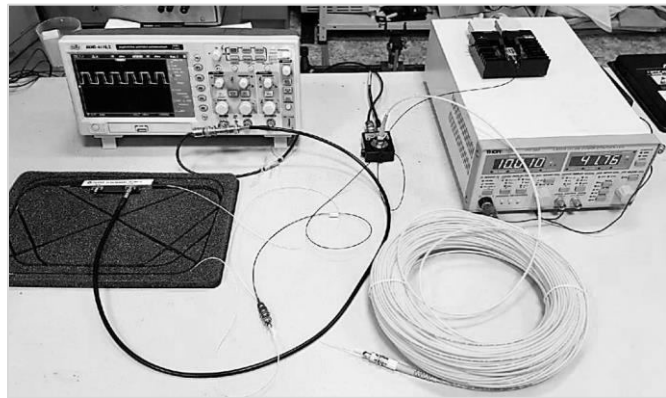


Рис. 1. Лабораторная установка

Для увеличения преобладания спектральных составляющих сигнала над шумом нами использовалась двухконтурная схема (рис. 8) с двумя волоконно-оптическими трактами и двумя фотоприёмниками с одинаковыми характеристиками. Длина волоконно-оптических трактов подбирается так, чтобы $l_{\text{ВОТ1}} \gg l_{\text{ВОТ2}}$ и $l_{\text{ВОТ1}} = m \cdot l_{\text{ВОТ2}}$ [7], где m – целое число. В нашем случае использовались длины 1 м и 100 м. В результате наложения волн резонансная частота составила $f = 10,6$ МГц. Полученный сигнал имеет мендроподобную форму (рис. 9).

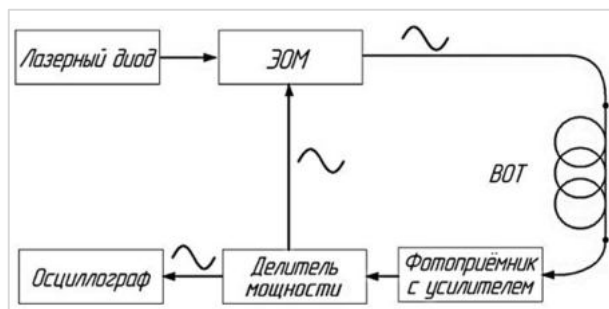


Рис. 2. Схема ОЭГ без полосовой фильтрации

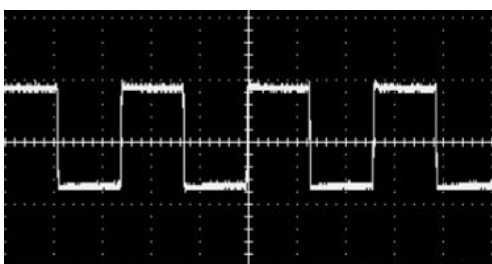


Рис. 3. Меандр

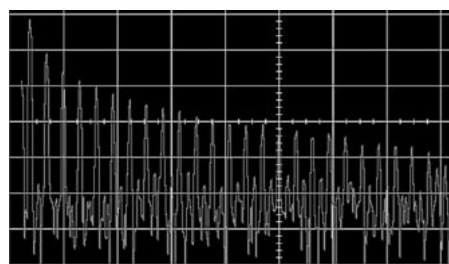


Рис. 4. Спектр меандра

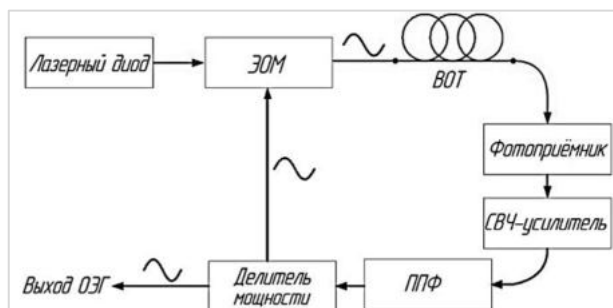


Рис. 5. Одноконтурная схема ОЭГ с полосовой фильтрацией

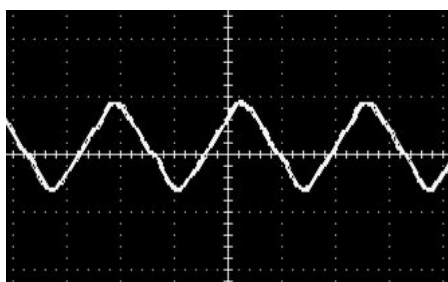


Рис. 6. Треугольный сигнал

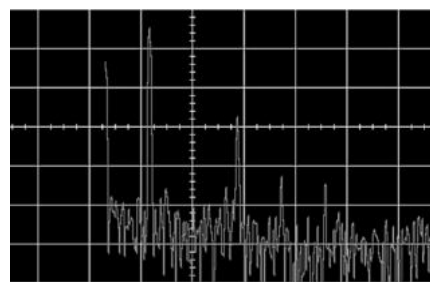


Рис. 7. Спектр треугольного сигнала

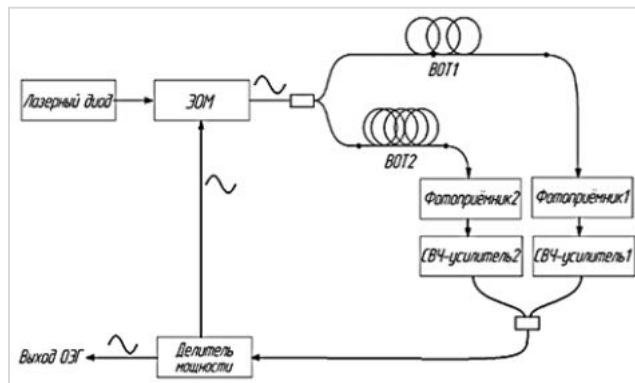


Рис. 8. Двухконтурная схема ОЭГ без полосовой фильтрации

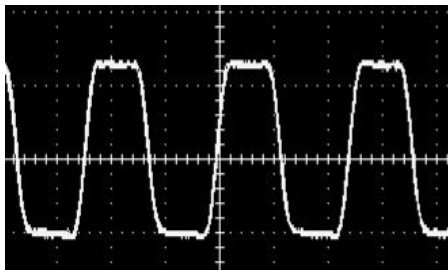


Рис. 9. Меандроподобный сигнал

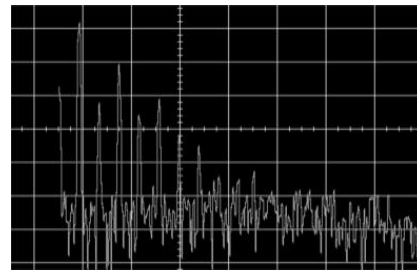


Рис. 10. Спектр меандроподобного сигнала

Т.к. сигнал не является идеальным меандром, его спектр (рис. 10) отличается от спектра меандра наличием дополнительных компонент с частотами $2f$, $4f$, $6f$ меньших по амплитуде, чем основные моды меандра – f , $3f$, $5f$. Основная мода превышает уровень шума примерно на 50 дБ, максимальный уровень дополнительных компонент над уровнем шума – 28 дБ.

Так как резонансная частота двухконтурной схемы составляет 10,6 МГц, а частота нашего фильтра 10,7 МГц, нам удалось получить генерацию стабильного сигнала при использовании двухконтурной схемы с полосовой фильтрацией (рис. 11). Сигнал имеет форму синуса (рис. 12), а в спектре присутствует основная гармоника с частотой $f = 10,6$ МГц, превышающая уровень шума на 46 дБ, и субгармоники с частотами $0,5f$ и $1,5f$ (рис. 13).

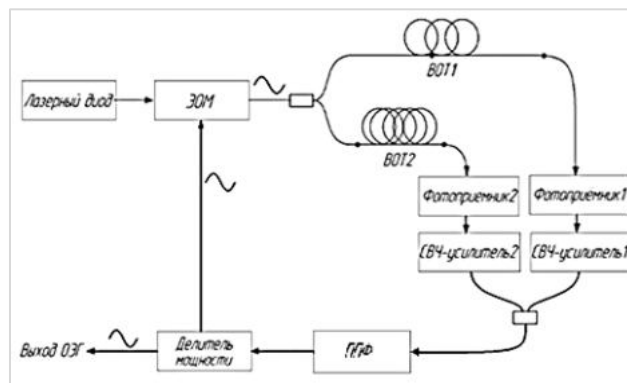


Рис. 11. Двухконтурная схема ОЭГ с полосовой фильтрацией

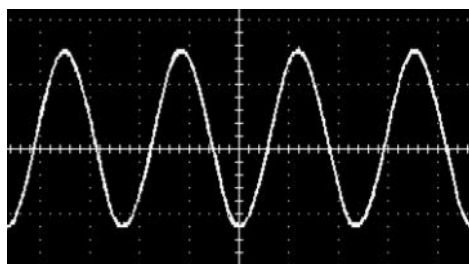


Рис. 12. Синусоидальный сигнал

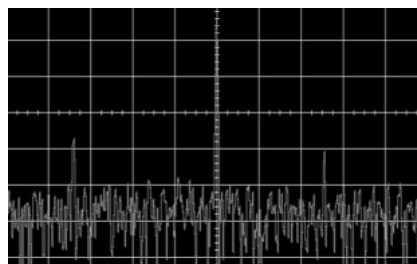


Рис. 13. Спектр синусоидального сигнала

В таблицу 2 сведены результаты всех проведенных исследований. Можно заметить, что использование двухконтурной схемы оптоэлектронного генератора даёт возможность увеличить преобладание основной моды над уровнем шума, а использование полосовой фильтрации в двухконтурной схеме позволяет избавиться от побочных компонент и получить синусоидальный сигнал с одной выделенной модой.

Таблица 2
Результаты исследований

Схема ОЭГ	Одноконтурная без полосовой фильтрации ($l_{\text{ВОТ}} = 100\text{м}$)	Одноконтурная с полосовой фильтром на 10,7 МГц	Двухконтурная без полосовой фильтрации ($l_{\text{ВОТ}1} = 100\text{м}, l_{\text{ВОТ}2} = 1\text{м}$)	Двухконтурная с полосовой фильтром на 10,7 МГц
Форма сигнала	Меандр	Треугольная	Меандроподобная	Синус
Частота генерации (МГц)	$f = \frac{c}{2l_{\text{экв}}}$ $= \frac{3 \cdot 10^8}{2 \cdot 150}$ $= 1\text{МГц}$	10,7; 32,1; 53,5	10,7; 32,1; 53,5; 74,9	10,7
Расстояние между частотами (МГц)	2	21,4	21,4	–
Максимальный уровень побочных мод над уровнем шума (дБ)	Нет	10	28	12
Превышение уровня шума основной модой (дБ)	42	42	50	46

Библиографический список

1. Далбаева Н. И., Ибрагимова Я. Г., Ким А. А., Терешенкова О. А. Радиофотонная система для верификации параметров радиолокационных устройств с использованием волоконно-оптических линий задержки // Материалы XXIV Международной научно-практической конференции, посвященной памяти генерального конструктора ракетно-космических систем академика М.Ф. Решетнева. Красноярск: 2020. С. 212 – 213.
2. Ильин М. Ю., Ким А. А., Разуваева И. С., Сотникова Н. В. Радиофотонная многопетлевая линия задержки для контроля и проверки технических параметров доплеровского радиолокатора // Вопросы радиоэлектроники. 2018. №6. С. 44 – 50.
3. Toan Thang Pham. Advances in opto-electronic oscillator operation for sensing and component characterization. Cachan, 2015. p. 181.

4. SFL1550S. [Электронный ресурс]. URL: [https:// www.thorlabs.com/thorproduct.cfm?partnumber=SFL1550S](https://www.thorlabs.com/thorproduct.cfm?partnumber=SFL1550S).

5. Optical modulator. [Электронный ресурс]. URL: [https:// www.optilab.com /optical-modulator](https://www.optilab.com/optical-modulator).

6. PDB440C – Fixed Gain Balanced Amp. Photodetector, 15 MHz, InGaAs, 800 - 1700 nm. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.thorlabs.com/thorproduct.cfm?partnumber=PDB440C>.

7. Белкин М. Е., Лопарёв А. Оптоэлектронный генератор – первое практическое устройство СВЧ-оптоэлектроники // Электроника: наука, технология, бизнес. 2010. №6. С. 62 – 70.

УДК 621.317.3

РАЗРАБОТКА КОМПАКТНОЙ ПЛАТЫ РАСШИРЕНИЯ ДЛЯ NUCLEO-144 ДЛЯ РАБОТЫ С АНАЛОГОВЫМИ ДАТЧИКАМИ В ВЫСОКОМ РАЗРЕШЕНИИ

А. Н. Сборницкая

Самарский университет

При получении данных о различных процессах бывают случаи, когда чтобы получить целостную картину о происходящем необходимо применить большое количество различных датчиков, контролирующих показания различных параметров, с которых необходимо с достаточно высокой скоростью одновременно снимать показания с привязкой данных показаний ко времени.

Было принято решение разработать свой вариант подобного устройства. Основные требования – оно должно быть скоростным, достаточно дешевым, компактным и с доступной комплектацией.

Было разработано устройство по сбору данных с 4 видов разных датчиков – мостовых тензометрических датчиков [1], датчиков на базе эффекта Холла, датчиков расхода воздуха и датчиков давления, с токовым интерфейсом 0...20 мА и 4...20мА. В ходе разработки было принято решение не ставить на плату микроконтроллер, а сделать ее платой расширения для уже существующей отладочной платы на основе STM32. Она была выбрана в виду простоты разработки, так как на нем уже установлен программатор, а так же уже есть аппаратно реализованные необходимые интерфейсы, а частоты хватает, чтобы обрабатывать данные на частоте в несколько десятков килогерц.

Изначально проект разрабатывался по техническому заданию (ТЗ) для применения на конкретной установке, однако в дальнейшем было принято решение об универсализации разработки. По исходным требованиям, частота снятия показаний – 10 кГц, разрядность аналогово-цифрового преобразователя должна быть не менее 20 бит. В качестве аналогового преобразователя был выбран ADS131E08 [4], так как он подходит по параметрам. Кроме того, обеспечить передачу данных в дальнейшие программы обработки было решено через интерфейс Ethernet.

Ethernet был выбран в виду скорости и дальности, а так же того, что при отправке данных интерфейс аппаратно формирует пакет. Так же были варианты использовать USB, но в виду выше описанных характеристик от этого отказались (дальность USB – 5 м, Ethernet – 100 м). Так как данные должен получить компьютер, прочие интерфейсы, как например UART, SPI, I2C не подходят, так как все равно встает потребность в конверторе в USB и описанной выше проблеме.

На рис. 1 вы видите 3D модель разработанной платы и ее механическое соединение с основной платой формата Nucleo 144[2]. В качестве отладочной платы была выбрана NUCLEO-F767ZI, так как на ней уже установлены необходимые разъемы. [3]

Питание системы осуществляется от напряжений 6, 8 и 24 Вольт (рабочие напряжения датчиков). Напряжение в 8 Вольт питает датчик Холла и преобразовывается в 3.3 для питания цифровой части АЦП, а также отладочной платы. На плате так же стоит преобразователь 8 в 5 Вольт для питания аналоговой части. Напряжение попадающее на преобразователь не фиксированное и может быть в диапазоне от 6.5 до 15 Вольт. От напряжения в 6 Вольт питаются датчики давления. При подборе питания к данному устройству можно подключать и прочие аналоговые устройства.

Напряжение в 24 Вольта питают датчики с токовым интерфейсом. С этих датчиков данные снимаются при помощи АЦП микроконтроллера, так как их диапазон позволяет уменьшить точность.

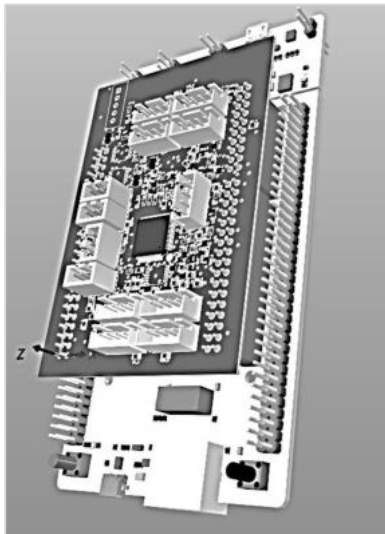


Рис. 1. 3D модель платы расширения для NUCLEO на 144 контакта

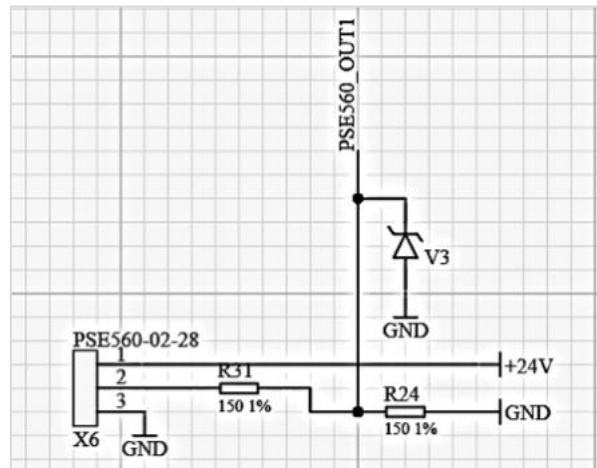


Рис. 2. Подключение датчика к АЦП микроконтроллера

На плате задействованы все 8 каналов аналогово-цифрового преобразователя. Подключение питания на всех каналах опционально. Возможен вариант питания от 6 Вольт, которые подаются извне и через источник тока, созданный на основе операционного усилителя и транзистора. Подаваемое питание зависит от запаянных резисторов (рис. 3)

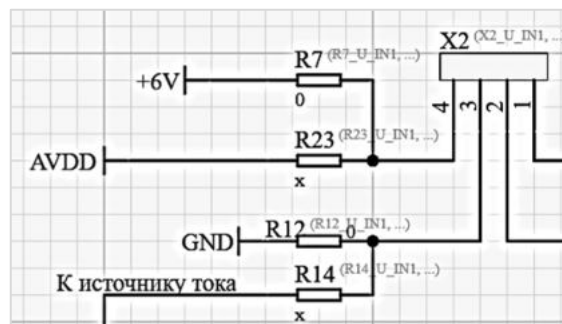


Рис. 3. Подключение датчиков

На данном рисунке разъем X2 – разъем датчика, где 1, 2 – контакты для снятия показаний, а 3, 4 – линии питания. Подключаются попарно либо 6 Вольт и земля, либо AVDD и источник тока. При использовании источника тока питание идет от 5 Вольт, от них же питается аналоговая часть аналогово-цифрового преобразователя. R1 считаем за датчик. Измерительный канал имеет следующую обвязку (рис. 5).

В данном случае выходы INP и INN подключаются к каналу АЦП, а OUT подключается к операционному усилителю, который создает среднюю точку. Подключение к средней точке опционально и обеспечивается установкой соответствующего нулевого резистора R17.

На рис. 6 показано непосредственно подключение к АЦП через операционный усилитель средней точки. Для этого на аналогово-цифровом усилителе существуют соответствующие контакты.

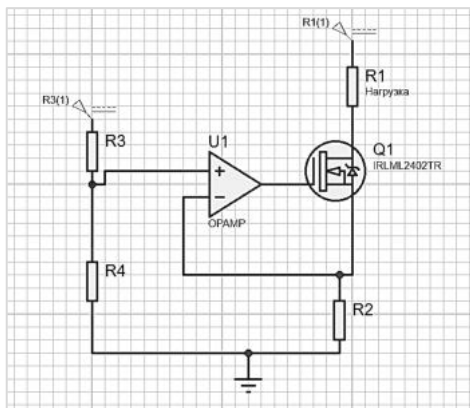


Рис. 4. Источник тока на операционном усилителе

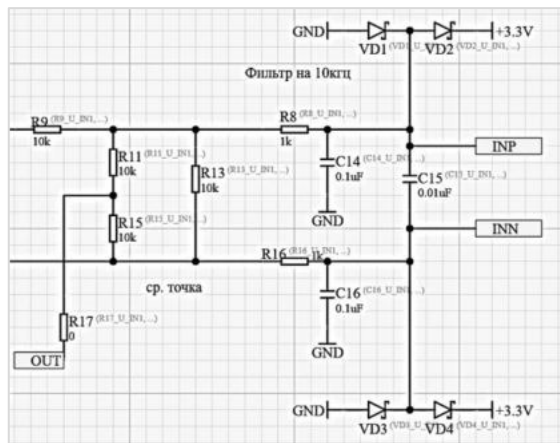


Рис. 5. Подключение датчика с аналогово-цифровому преобразователю

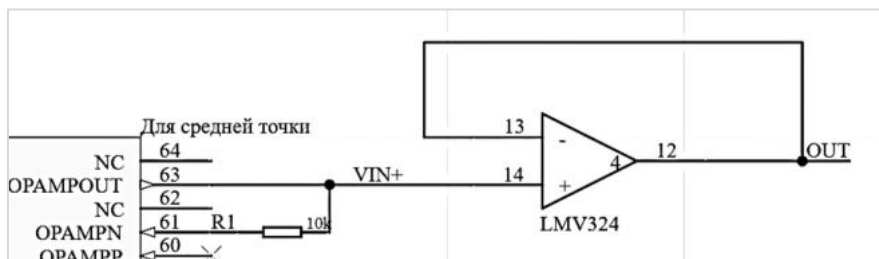


Рис. 6. Подключение к средней точке

Программная реализация заключается в снятии данных с аналогово-цифрового преобразователя при помощи интерфейса SPI. Полученные данные принимаются микроконтроллером и отправляются через Ethernet на компьютер. Структура пакета следующая (рис. 7).

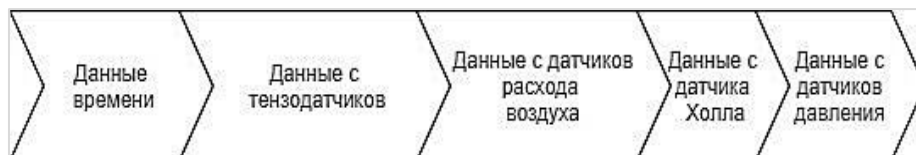


Рис. 7. Структура данных пакета

Данные собираются для дальнейшей обработки и анализа данных, снимаемых с двигателя. Приложение, обрабатывающее данные создает сокет, который слушает порт и ждет приход данных.

В результате было получено устройство с высоким быстродействием и возможностью подключения альтернативных измерительных устройств. При подключении разных напряжений в указанных диапазонах возможно подключение различных аналоговых датчиков. При замене соответствующих перемычек возможно измерение в разных режимах.

Таблица 1
Расчет объёма данных в пакете

	Разрядность, бит	Каналы	Прочее	Итого, байт
Тензометрические датчики	24	4	-	36
Датчики с эффектом Холла	24	4	-	
Датчики на токовом интерфейсе	15	5	-	
Время	-	-	32 бита	

Работа выполнена в рамках проекта FSSS-2020-0018, финансируемого из средств государственного задания победителям конкурса научных лабораторий образовательных организаций высшего образования, подведомственных Минобрнауки России.

Библиографический список

1. Gudkov S. A., Kumarin A. A. A strain measuring station for testing dampers // Measurement techniques, vol. 58 № 10, 2016. P. 1144 – 1149.
2. Пирогова Е. В. Проектирование и технология печатных плат. М.: ФОРУМ: ИНФРА-М, 2005. 560 с.
3. STM32 Nucleo-144 boards (MB1137) – User Manual [Электронный ресурс]. URL: https://www.st.com/resource/en/user_manual/dm00244518-stm32-nucleo144-boards-mb1137-stmicroelectronics.pdf.
4. ADS131E0x 4-, 6-, and 8-Channel, 24-Bit, Simultaneously-Sampling, Delta-Sigma ADC [Электронный ресурс]. URL: https://www.ti.com/lit/ds/symlink/ads131e08.pdf?ts=1617278483035&ref_url=https%253A%252F%252Fwww.google.com%252F.

УДК: 629.78; УДК: 612.8

ПОДХОД К РЕАЛИЗАЦИИ КОНЦЕПТА ПОРТАТИВНОЙ ЭКСПРЕСС-ДИАГНОСТИКИ НА ОСНОВЕ МУЛЬТИФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СМАРТ-ДЕВАЙСОВ И ВИЗОКОНТРАСТОМЕТРИИ ЗРИТЕЛЬНОГО АНАЛИЗАТОРА КОСМОНАВТА В КОСМИЧЕСКОМ ПОЛЁТЕ

А. Е. Спирин

ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю. А. Гагарина»

Памятны слова космонавта Алексея Овчинина «*Быстро прилетели*», в момент аварии при старте ракеты-носителя с кораблём «Союза МС-10» 11 октября 2018 г., сказанные им с эмоционально-волевым спокойствием, абсолютной уверенностью и хладнокровием. Известно много других случаев высшей степени волевого владения человеком своим психоэмоцио-

нальным состоянием – психологической саморегуляцией, например при аварийной посадке 15 августа 2019 г. на кукурузном поле самолёта А321, на котором отказали оба двигателя.

Поскольку одной из стратегических задач для пилотируемой космонавтики является минимизации прогностических рисков и, соответственно, успешность выполнения космонавтом космической миссии, то для оценки его как психофизиологического (ПФС), так и психоэмоционального состояний (ПЭС) требуется эффективная экспресс-диагностика в заданные моменты в реальном масштабе времени посредством компактных и портативных дистанционных экспресс-анализаторов. Поэтому разработка программно-аппаратного концепта портативного телекоммуникационного экспресс-анализатора на основе мультифункциональных смарт-девайсов является актуальным направлением.

Целью работы является исследование подхода к реализации концепта портативной экспресс-диагностики на основе мультифункциональных смарт-девайсов и визоконтрастометрии зрительного анализатора (ЗА) космонавта в космическом полёте.

Для решения данной проблемы – дистанционной экспресс-диагностики людей, находящихся в движущихся системах в условиях изменённого гравитационного поля, а также людей экстремальных и особо ответственных профессий, у которых зрительный анализатор несет максимальную информационную нагрузку по сравнению с другой совокупностью периферических и центральных сенсорных и сенсомоторных структур центральной нервной системы были:

1. исследованы корреляционные зависимости ПФС и визоконтрастометрии ЗА космонавтов и испытателей от условий функционирования видеоинтерфейса в системе «человек – машина»;

2. усовершенствованы, ранее предложенные способы и устройство дистанционной экспресс-диагностики зрительного анализатора [1], представленные на рис. 1 и 2; и,

3. определены подходы к программно-аппаратной реализации концепта портативной экспресс-диагностики на основе мультифункциональных смарт-девайсов и визоконтрастометрии ЗА, один из вариантов которых показан на рис. 3.

В условиях длительного космического полёта (высокие скорости, длительная изоляция, замкнутое пространство, эмоциональная напряжённость и т.п.) и ряда экстремальных воздействий (изменённые гравитационные поля, радиация и т.п.) организм человека подвергается аномальным реакционно-релаксационным изменениям. В таких условиях ЗА космонавта остаётся основным и фактически единственным органом несущим максимальную информационную нагрузку по сравнению с другой совокупностью сенсорных и сенсомоторных структур центральной нервной системы (ЦНС). Медицинская телеметрия только параметров физиологического контроля не может объективно диагностировать психоэмоциональные состояния такие, как стресс, монотонию, фрустрацию и т.д. В этой связи завышенная или заниженная оценка функций ЗА в условиях отсутствия подтверждения или опровержения каких либо фактов нестандартных ситуаций или неординарных событий, может привести к неоправданным рискам.

С другой стороны, массогабаритное ограничение полезной нагрузки и отсутствие инструментария в виде компактных и портативных дистанционных экспресс-анализаторов данного функционального назначения препятствует организации как космического эксперимента по исследованию многофакторного космического влияния на ПЭС космонавта, так и эффективной и достоверной экспресс-диагностике космонавта в заданные моменты и в реальном масштабе времени.

Поскольку ЗА в условиях космоса остаётся основным и фактически единственным объективным проприоцептором в многомодальной интеграции каналов восприятия, то возможно через диагностику состояния ЗА оценивание параметров ПФС, в т.ч. и ПЭС человека от условий функционирования зрительного интерфейса в системе «человек-машина».

Установлено, что комплексной функцией ЗА человека, зависящей от контрастной чувствительности, остроты зрения, реакционно-релаксационных процессов и ряда других психофизиологических факторов, служит исследование пространственно-контрастной чувствительности [2]. Её изменения могут быть первым признаком, как простого утомления, так и более

серьёзных процессов перестройки ЗА. Более того, поскольку очень сходные нарушения могут возникать как при самой разнообразной патологии зрительно-нервного и оптического аппарата, так и вестибуло-моторного и психофизического аппарата в целом, то данные визоконтрастометрии могут расцениваться как скрининговые. Поскольку рецептивные поля ЗА подобны системе локальных фильтров разных пространственных частот и ориентации, то лучшими тестовыми стимулами для их возбуждения служат не точка и не линия [3], а разноконтрастные черно-белые или хроматические синусоидальные решетки (с размытыми контурами, разных направлений и ширины полос) [4]. Тестовые контрастные решетки могут быть выполнены в виде изображений, яркости которых меняются по синусоидальному закону в горизонтальной плоскости с плавным изменением коэффициента модуляции по заданному закону в вертикальной плоскости. Контрастность горизонтальной строки решетки равна соответствующему контрасту модуляции [5]. Известны способы компьютерных (программно-аппаратных) реализаций визоконтрастометрии в виде устройств «Эрготест» разных модификаций [6] и их усовершенствованных аналогов типа «ZEBRA» [7]. Известны специализированные паттерны, генерируемые на экране монитора для тестирования зрительных функций [8 – 10] и другие.

Визоконтрастометрия в устройствах «Эрготест», реализованных по работам [3 - 6] осуществляется по вариациям предъявления тест-изображений синусоидальных решеток в двух областях, и, как следствие, вероятность ошибки каждого ответа равна 0,5, т.е. «угадал/не угадал». При этом общее психофизиологическое состояние тестируемого остаётся неопределённым, и, соответственно, насколько уверенным или сомнительным был ответ остается вне рамок диагностики. Более того, при такой диагностике ЗА основным недостатком является субъективный человеческий фактор как со стороны медика – эксперта, так и со стороны тестируемого пациента, его адекватности к сотрудничеству и склонности занижать или завышать свои возможности [7, 11]. Для людей и профессий в чьи функции входит операторская деятельность или визуально-инструментальное наблюдение, где ЗА несет максимальную информационную нагрузку по сравнению с другой совокупностью периферических и центральных структур центральной нервной системы подобная «девиантность» недопустима.

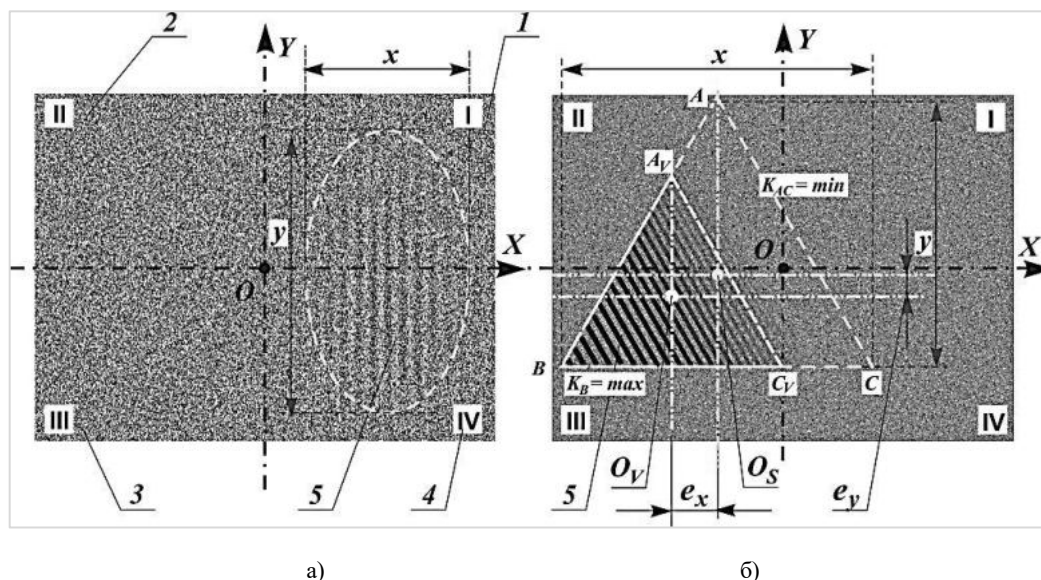


Рис. 1. Способ дистанционной экспресс-диагностики зрительного анализатора по патенту RU 2726604 С1 – условные изображения примеров синтезированных тест-изображений синусоидальных решеток на экране смарт-девайса

Для решения данной проблемы были предложены способы и устройство дистанционной экспресс-диагностики ЗА, представленные на рис. 1 и 2 [1].

На рис. 1 обозначены: 1, 2, 3 и 4 – I, II, III и IV части – четверти ортонормированного дисплея, 5 – тест-изображения синусоидальных решеток размерами $x \times y$ в виде эллипса (а) и в виде треугольника (б) с вершинами А, В и С; ОХ и ОУ – ортогональные оси, образующие прямоугольную систему координат с центром в точке О, являющегося геометрическим центром дисплея; точка O_S – центр синтезированного тест-изображения синусоидальной решетки представленного на дисплее; точка O_V – центр визуализируемого зрительным анализатором тест-изображения синусоидальной решетки; параметр $e=(e_x, e_y)$ – рассогласование между центрами O_S и O_V по осям ОХ и ОУ синтезированного и визуализированного (хорошо распознаваемого) тест-изображений синусоидальной решетки ($e_x=|O_S(x) - O_V(x)|$, $e_y=|O_S(y) - O_V(y)|$).

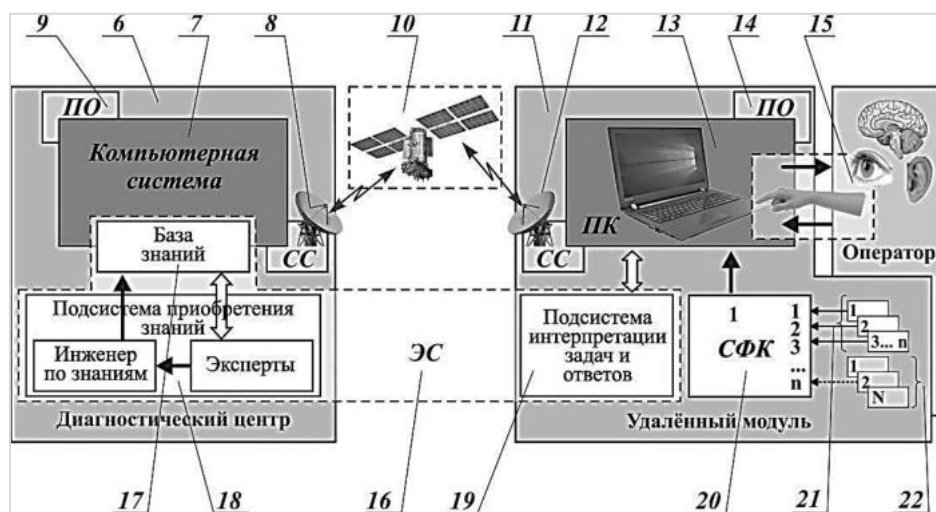


Рис. 2. Устройство дистанционной экспресс-диагностики зрительного анализатора по патенту RU 2726604 С1, в составе: диагностический центр в ЦУП на Земле и удаленный модуль на борту космического корабля

На рис. 2 изображено устройство, реализующее способ, где 6 – диагностический центр в составе: компьютерная 7 система, средства 8 связи (СС) и специализированное 9 программное обеспечение (ПО); 10 – канал передачи данных; 11 – удаленный модуль в составе: средство 12 связи (СС), портативный 13 компьютер (ПК), специализированное 14 ПО и интерактивный 15 интерфейс пользователя (оператора); 16 – экспертная система (ЭС) в составе: база 17 знаний, подсистема 18 приобретения знаний и подсистема 19 интерпретации задач и ответов; 20 – система функционального контроля (СФК) с датчиками 21 психофизиологических n -параметров дыхания, сердечно-сосудистой активности и электрического сопротивления кожи, а также, с датчиками 22 других функциональных N -параметров жизнедеятельности человека (при необходимости).

Реализация программно-аппаратной части с учетом требований к разработкам космических систем, а также возможностей в широком спектре перспективных информационных технологий, операционных систем и языков программирования, потребовали дополнительных исследований. С этой целью были совершенствованы, ранее предложенные способы и устройство дистанционной экспресс-диагностики зрительного анализатора [1] и определены подходы к программно-аппаратной реализации концепта портативной экспресс-диагностики на основе мультифункциональных смарт-девайсов и визоконтрастометрии ЗА космонавта в космическом полёте, один из вариантов которого показан на рис. 3.

Одним из возможных подходов предложен инструментарий в виде приложения, написанного для планшета, работающего на операционной системе «Андроид». Программа разработана на языке Java в интегрированной среде разработки Android Studio, специально предназначенной для работы с такой системой. Её принцип работы заключается в следующем. При запуске приложения первым запускается класс TestActivity, в котором инициализируется метод «onCreat».

В этом методе с помощью подпрограммы «setContentView(R.layout.activity_main)» активируется путь «R.layout.activity_main» к файлу с «XML-разметка» из базы данных приложения и визуализируется экран смартфона, как показано на рисунке 3. В этом же файле прописываются пять основных объектов на экране: один объект класса «ImageView» и четыре объекта класса «Button» расположенные симметрично относительно осей симметрии экрана. При этом объекты класса «Button» расположены над объектом «ImageView», являются прозрачными, каждый из них привязан к соответствующей области экрана (левый верхний, правый верхний, левый нижний, правый нижний) как показано на рисунке 3, б, в. и выполняют функцию датчика касания.

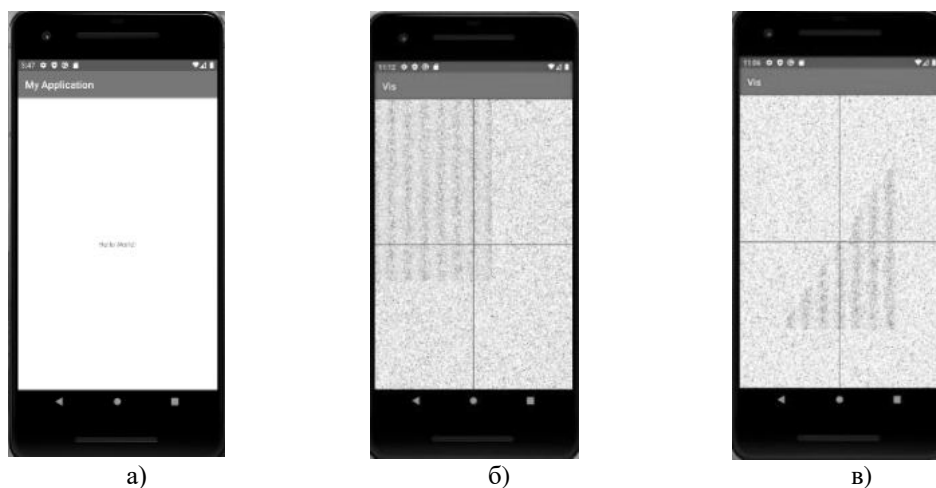


Рис. 3. Экран приложения: а – базовый, б, в – состоящий из точек пикселей, на котором генерируется тест-изображение синусоидальной решетки с постоянными параметрами контраста и частоты

Далее в классе «TestActivity» методом «draw» в первом объекте класса «ImageView» формируется монохромный растр, состоящий из точек пикселей, равномерно распределенных по площади экрана в соотношении 50/50 %. При этом соотношение и цветность пикселей может меняться в соответствии с тестовыми задачами. В этом же объекте формируется тестовое изображение в виде синусоидальной решетки в виде элементов Габора, которые представляют собой синусоиду, умноженную на функцию Гаусса. Элемент Габора, в данном случае как показано на рис. 3 б, в, описывается стандартным для вертикальной ориентации элемента выражением:

$$f(x, y, \sigma, v, \phi) = \sin(2\pi vx + \phi) \exp(-(x^2 + y^2)/2\sigma^2)/2\pi\sigma^2,$$

где x, y — координаты на изображении, σ — стандартное отклонение, v — пространственная частота, ϕ — фаза (в изображениях, синтезируемых программой, $\phi = -\pi/2$).

Тест-изображение может формироваться в соответствии с заданными требованиями (исходными данными) как в одной из 4 областей экрана, так и одновременно в двух, трёх и четырёх областях экрана.

Алгоритм работы программно-аппаратной части осуществляется следующим образом. В начале, координатная плоскость дисплея ортонормируется на четыре (I, II, III и IV) равные прямоугольные части с отображением центра прямоугольной системы координат в геометрии

ческом центре дисплея и координатных (ортогональных) осей OX и OY , образующих прямоугольную систему координат с центром в точке O , рис. 1 а, б.

Синтезированное тест-изображение 5 синусоидальной решетки размером $x \times y$ и параметрами – T (период), K (контраст), $\Delta\lambda$ (спектральный диапазон), α (азимут) и f (частота пульсаций) представляется в случайном порядке и в любой области координатной плоскости дисплея, не ограничиваясь пределами какой либо из его четырёх I, II, III и IV частей. Например: на рис.1, а синтезированное в форме эллипса тест-изображение 5 синусоидальной решетки представлено в I и IV частях дисплея, а на рис.1,б синтезированное тест-изображение 5 синусоидальной решетки в форме треугольника захватывает все (I, II, III и IV) четыре части экрана дисплея (прерывистый контур большого треугольника ABC). Вершина B имеет максимальный контраст ($K_B = \max$) синусоидальной решетки, уменьшающийся по направлению к основанию AC треугольника до нуля ($K_{AC} = 0$) при неизменных параметрах T , $\Delta\lambda$, α , f и s с центром в точке O_S (рис.1,б). Аналогичное формирование тест-изображений синусоидальной решетки может быть создано любой вариацией параметров K , T , $\Delta\lambda$, α , f и/или их комбинацией.

Зрительный анализатор, имея пороговую чувствительность, например по контрасту K как показано на рис.1, визуализирует тест-изображение синусоидальной решетки либо в форме эллипса (рис.1,а), либо в форме малого треугольника $A_V B_C V$ (рис.1,б). Соответственно, ответ формируется либо указанием через интерактивный интерфейс 15 пользователя (интерфейс управления компьютера или экран смартфона) соответствующих частей дисплея в которых визуализируется тест-изображение (способ по п.1 патента RU 2726604 C1), либо путём «захвата» и перемещения (с помощью компьютерной мыши или тачпада) начала координат из центра (точка O) ортонормированного дисплея в центр визуализируемого тест-изображения синусоидальной решетки, например, в точку O_V (способ по п.2, рис.1,б патента RU 2726604 C1).

Если, как показано на примере рис.1,б, тест-изображение фигуры в виде малого $A_V B_C V$ треугольника «залитого» синусоидальной решеткой идентифицируется во II части, то невозможно проигнорировать его и в III части фигуры. То есть, здесь исключена попытка преднамеренного игнорирования хорошо распознаваемого тест-изображения. Напротив, если ЗА не различает штрихов (полос) синусоидальной решетки у основания треугольника AC , например в IV части дисплея, то и предугадать наличие штрихов в I части дисплея, тем более невозможно.

Приведенный пример на рис.1,б уже с простой формой в виде треугольника тест-изображения синусоидальной решетки дает высокую достоверность результатов исследования пространственно-контрастной чувствительности ЗА. В случае генерирования тест-изображений синусоидальной решетки в виде сложных симметричных или ассиметричных многоугольников исключаются попытки занижать или завышать возможности зрительного анализатора как по пространственно-контрастной чувствительности (визоконтрастометрия) и спектральной чувствительности (цветометрия), так и по абберациям оптической системы (глаза).

Более высокую точность ошибки – разрешающую способность способа и, соответственно, более высокую точность определения качества ЗА и достоверность ответа тестируемого дает способ по п.2 патента RU 2726604 C1. В нем дополнительно к переменным T , K , $\Delta\lambda$, α и f добавляется переменная – «позиционирования», которая формализуется параметрами центра O_S синтезируемого тест-изображения синусоидальной решетки. Соответственно, чем точнее ответ, т.е. совпадение O_V с O_S , тем меньше рассогласование ($e_x \rightarrow 0$ и $e_y \rightarrow 0$) и выше точность диагноза зрительного анализатора.

И в первом и во втором случаях точность ответов будет характеризовать качество ЗА пользователя.

В зависимости от того насколько точно пользователь идентифицирует отображающиеся на дисплее тест-изображения (оптотипы) и их позиционирование, программно осуществляется как изменение размеров $x \times y$ и формы геометрической фигуры, «залитой» синусоидальной решеткой с соответствующими фиксированными параметрами T , K , $\Delta\lambda$, α , f , так и изменение самих параметров (T , K , $\Delta\lambda$, α , f) синусоидальной решетки.

Изменение размеров, формы фигуры и параметров «заливки» фигуры синусоидальной решеткой может осуществляться либо в сторону пороговых значений до полного исчезновения тест-изображения на фоне растрового полутонового шума и начала появления ошибочных ответов, либо в сторону хорошо визуализируемых параметров до точной идентификации оптотипов. При этом количество реверсий (границ между правильными и ошибочными ответами) минимизировано и может задаваться (определяться) автоматически программой или экспертной системой.

Поскольку ЗА пользователя встроен в интерфейс управления (ввода-вывода) и образует с ним интерактивный интеллектуальный интерфейс с формированием рефлекторного кольца (обратной связи), то от точности ответов, характеризующих качество ЗА пользователя, будут синтезироваться соответствующие оптотипы.

Для оценки достоверности сообщаемой через интерфейс информации (насколько уверенно или с сомнением дается ответ) синхронно с ответом могут контролироваться психофизиологические n -параметры дыхания, сердечно-сосудистой активности и электрического сопротивления кожи, а также, при необходимости и другие N -функциональные параметры. При этом стимулами являются тест-изображения синусоидальной решетки синтезируемой с рандомизацией формы, размеров $x \times y$, и её параметров $T, K, \Delta\lambda, \alpha$, и f .

Синтез тест-изображения 5 синусоидальной решетки, её представление на дисплее (рис. 1), анализ ответа, контроль психофизиологических параметров, выдача результатов диагностики и оценка их достоверности может осуществляться экспертной системой 16 в автоматическом режиме или в автоматизированном режиме с участием экспертов и/или пользователя. В отсутствие сеанса связи (режим «off-line») функции диалоговой компоненты экспертной системы 16 выполняет подсистема 19 интерпретации задач и ответов, связанная двунаправленной многоуровневой шиной с ПК 13 удалённого модуля. В режиме «on-line» – прямого обмена сообщениями в сеансы связи к подсистеме 19 подключается база знаний 17 компьютерной системы 7 диагностического центра 6 и эксперты. По мере накопления знаний в базе 17 знания посредством подсистемы 18 приобретаются знаниями диагностического центра 6 подсистема 19 интерпретации задач и ответов обновляется.

Предлагаемый подход к реализации концепта портативной экспресс-диагностики на основе мультифункциональных смарт-девайсов и визоконтрастометрии позволяет решить задачу оценки достоверности полученных результатов при удалённой диагностике ЗА поскольку исключает субъективный человеческий фактор как со стороны медика – эксперта, так и со стороны тестируемого – пользователя (пациента), их адекватности к сотрудничеству и склонности занижать или завышать свои возможности. Более того, позволяет создать портативный телекоммуникационный экспресс-анализатор.

По материалам данных исследований получен результат, способный к правовой охране. В нём впервые метод визоконтрастометрии реализуется на основе планшета с сенсорным экраном, агрегированным в критериально-ориентированную экспертную систему.

Библиографический список

1. Даниличев С. А., Спиринов А. Е., Жуков В. М. и др. Способ и устройство дистанционной экспресс-диагностики зрительного анализатора. Патент на изобретение RU 2726604 C1.
2. Определение остроты зрения (Визометрия) – <https://beregizrenie.ru/diagnostika/vizometriya/>, <https://ru.wikipedia.org/>; Визоконтрастометрия – <https://zreni.ru/articles/oftalmologiya/4389-vizokonstrastometriya-sovremennaya-oftalmologiya>
3. <http://medbe.ru/materials/diagnostika-i-obsledovanie/issledovanie-kontrastnoy-chuvstvitelnosti>.
4. Шелепин Ю. Е. и др. Визоконтрастометрия. Измерение пространственных передаточных функций зрительной системы. Л: Наука, 1985.
5. Волков В. В. и др. Атлас и пособие по визоконтрастопериметрии. 1987.

6. Шелепин Ю. Е. и др. Визоконтрастометрия. Измерение пространственных передаточных функций зрительной системы. Л: Наука, 1985.

7. Шамшинова А. М., Волков В. В. Функциональные методы исследования в офтальмологии. М.: 1999. 416 с.

8. Патент США US 6 244 713 B1. Optometric chart presenting apparatus.

9. Патент США US 6 425 665 B2. Visual acuity examination apparatus.

10. Патент США US 7 549 751. Optotype presenting apparatus.

11. Патент RU 2 523 142. Способы проверки остроты зрения.

УДК 621.396

ЦЕНТР УПРАВЛЕНИЯ ПОЛЁТАМИ. РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ ПОКАЗА 3D МОДЕЛИ СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ

М. Д. Суров

*ГБНОУ «Санкт-Петербургский городской Дворец творчества юных»,
Юношеский клуб космонавтики им. Г. С. Титова*

В Центре управления полётами Юношеского клуба космонавтики им. Г. С. Титова (ЦУП ЮКК) планируется расположить стену экранов – большие экраны, соединёнными между собой, для визуализации 3D контента. На данный момент разработан концепт программы 3D модели Солнечной системы. Программа написана на JavaScript с использованием библиотеки Three.js, реализована возможность в будущем добавлять другие 3D объекты. Также для экономии времени предложена возможность загрузки необходимой информации на каждый из экранов стены при помощи WebSocket вместо протокола http.

Цель работы. Реализовать возможность отображения на стене экранов ЦУП ЮКК 3D объектов на примере 3D модели Солнечной системы.

ЦУП ЮКК предназначен для управления космическими, воздушными и наземными объектами и их математическими моделями. ЦУП ЮКК включает в себя как большие экраны визуализации (стена экранов), так и отдельные автоматизированные рабочие места управления (АРМ).

Создание ЦУП ЮКК связано с многими задачами. Одной из них является отображение информации на стене экранов. Стену планируется создавать при помощи совмещённых друг с другом экранов, которые будут показывать единое изображение, распределённое на них. При этом 3D модель Солнечной системы является программой, написанной на браузерном языке программирования — JavaScript (JS), с использованием библиотеки Three.js, которая использует WebGL, что позволяет пользоваться графическим процессором для ускорения работы.

На данный момент реализован концепт программы 3D модели Солнечной системы, согласно которому:

1. Каждый объект считается самостоятельным и хранится в файле формата svg, который позволяет размещать внутри JS код. Svg при загрузке на html-документ при помощи тега object создаёт в нём отдельный документ, который может иметь одинаковые с основным html-документом названия переменных, и они не будут вызывать ошибки.

2. У объектов указывается название родителя (название объекта, к которому следует присоединить его) и собственное имя.

3. JS код, который объединяет объекты между собой находится в html-документе.

4. Каждый объект имеет обязательно 4 функции, которые могут вызываться вышеупомянутым кодом:

4.a `get(data)` — возвращает свойство, имеющее название `data`, JS объекта (`datarefs`), содержащего параметры объекта.

4.b `set(type,data)` – выполняет лежащую внутри `svg` функцию с названием `type` и аргументом `data`.

4.c `init(Three,callback)` – формирует 3D объект и сохраняет в `datarefs`. Аргументы `Three` – ссылка на объект библиотеки; `callback` – ссылка на функцию, которая находится в заранее загруженном JS файле (см. п. 3).

4.d `callback(data)` – функция, которая вызывается внутри `svg` после завершения каких-либо действий или для запроса информации у клиента и отправляет `html`-документу какую-либо информацию, например, о том, что 3D объект готов.

5. По завершении загрузки `svg` файла вызывается событие `onload`, которое провоцирует срабатывание функции `init` в `svg` файле.

6. Для разделения изображения на части, чтобы их расположить на отдельных экранах планируется использовать метод, вызываемый у `Three.js` камеры (рис. .1).

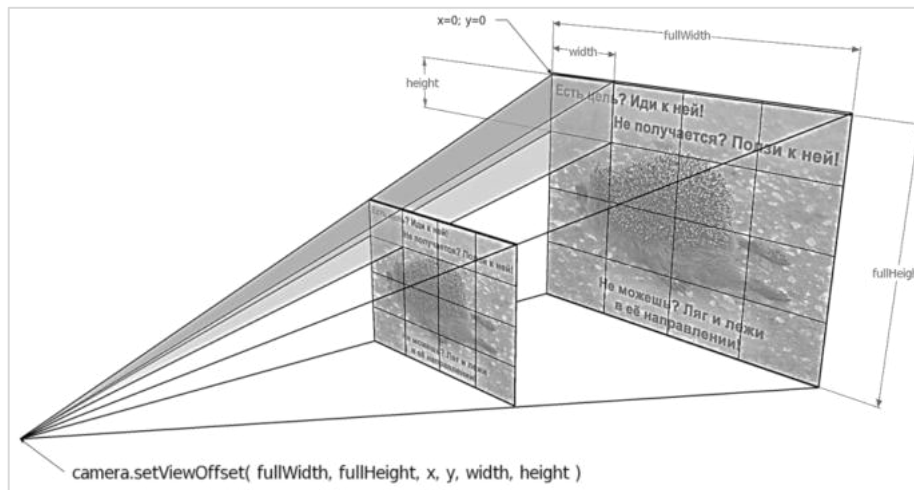


Рис.1. Стена экранов

Однако перед началом работы стены экранов требуется загрузить алгоритмы и файлы `svg` на каждый экран.

Классический протокол передачи данных, который используется в интернете называется `http`, был создан в 1990-х годах. Он работает по принципу запрос-ответ, то есть экран при первом запросе к серверу в ответ получит гипертекст для формирования основного `html`-документа. Основной `html`-документ будет содержать ссылки на другие файлы, которые экран тоже начнет запрашивать. Подобная процедура повторяется для каждого экрана, и при увеличении количества экранов в стене время загрузки будет возрастать.

Однако при первом запросе сервер знает, какие ссылки содержатся в `html`-документе, и может отправить их сразу без дополнительных запросов. С начала 2010-х годов была предложена технология `WebSocket (WS)`. Она позволяет свободно обмениваться данными между клиентом и сервером.

Концепт передачи `html`-документа и файлов выглядит следующим образом:

1. По протоколу `http` каждому экрану передается базовый `html`-документ, который содержит JS код для создания `WS` и описания основных его функций (при получении сообщения, ошибки, закрытия соединения и т. д.), а также для создания двух массивов: для сохранения загруженных

файлов и инструкций. Тем не менее клиент будет сохранять возможность запроса к серверу для получения дополнительных файлов.

2. Как только устанавливается соединение, экран по WS посылает сообщение о готовности.

3. Затем сервер отправляет гипертекст html-документа, в котором отсутствуют ссылки (но те теги, которые должны их иметь, содержат id), а также отправляет JSON сообщение с инструкциями, в какие теги должны поместиться файлы (указывается id тега и ссылка на файл). А далее сервер отправляет эти самые файлы (клиент получает название ссылки на файл и сам файл в виде бинарного массива).

4. Полученные инструкции записываются в один массив, а файлы в другой (см. п. 1). При изменении какого-либо из массивов, а также при появлении нового гипертекста html срабатывает функция, которая выставляет в теги ссылки на соответствующие файлы, если они присутствуют, а соответствующий пункт инструкции из массива удаляется. Это позволяет асинхронно (т.е. не в определённой последовательности) загружать информацию.

При этом для запуска стены экранов можно дождаться подключения всех экранов по WS, а затем отправить всю информацию один раз для ещё большей экономии времени.

Заключение. Созданы концепты программы 3D модели Солнечной системы и её загрузки на стену экранов ЦУП ЮКК.

Научный руководитель: к.т.н., зав. сектором В. Ф. Жуковский.

Библиографический список

1. Вильданов А. Н. 3D-моделирование на WebGL с помощью библиотеки Three.js: учебное пособие. Уфа: Изд-во РИЦ БашГУ, 2014. 113 с.

УДК 53.087.44

РАЗРАБОТКА ОБРАТНОЙ СВЯЗИ СИСТЕМЫ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ДИНАМИКИ СПЕКТРАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ОБЪЕКТА, ПОДВЕРГАЮЩЕГОСЯ ЛАЗЕРНОМУ ВОЗДЕЙСТВИЮ

О. А. Терешенкова^{1,2}, И. А. Богдановский^{1,2}, А. А. Ким^{1,2}

¹Балтийский государственный технический университет «Военмех» им. Д. Ф. Устинова
²АО «Лазерные системы»

Создание быстрых обратных связей в автоматизированных системах и системах технического зрения является первоочередной задачей, не теряющей своей актуальности. Автоматизированные системы лазерного воздействия и лазерной обработки – одно из перспективных активно развивающихся направлений – не являются исключением. Такие системы широко применяются в промышленности, медицине и некоторых других областях. Построение надежной и быстрой обратной связи непосредственно связано с объективной оценкой меры воздействия лазерного излучения на поверхность объекта. Так, например, точная оценка температуры ванны расплава в SLM технологии является одним из важнейших факторов, напрямую влияющих на качество спекания металлического порошка.

В общем случае при воздействии на объект лазерным излучением после достижения некоторой мощности (или температуры на поверхности), значение которой различно в зависимости от физических свойств подвергаемого воздействию объекта, происходят необратимые изменения поверхности объекта. Чаще всего оценка степени воздействия происходит прямым

визуальным методом, что само по себе не всегда оказывается достаточным, да и она не всегда может быть выполнена в полном объеме. Вследствие этого возникает вероятность чрезмерного или, наоборот, недостаточного воздействия на объект, что затрудняет достижение необходимого результата воздействия. В настоящее время воздействие лазерным излучением, при котором отсутствует возможность визуального контроля воздействия, широко применяется в медицине [1, 2], но такие методы воздействия имеют перспективы использования и в других областях. В случаях удаленного воздействия лазерного излучения на область объекта излучение подводится с помощью оптического волокна [3, 4].

В случае отсутствия возможности визуальной оценки контроль результатов лазерного воздействия может быть выполнен с помощью системы обратной связи, в которой регистрируются спектральные характеристики объекта, подвергаемого воздействию. Такая система состоит из трех подсистем: осветительной, системы спектральной фильтрации и подсистемы регистрации и обработки данных. В осветительную подсистему входят галогенная лампа. Излучение лампы освещает область объекта, которая подвергается воздействию. Излучение лампы подводится к области воздействия вместе с лазерным излучением, за счет использования системы спектральной фильтрации. В системе спектральной фильтрации производится смешение излучения подсветки и излучения лазера, а также фильтрация отраженного от объекта излучения для передачи на спектрометр. Подсистема сбора данных состоит из спектрометра и компьютера. Система обратной связи может быть выполнена с использованием оптического волокна для подведения излучения подсветки и излучения лазера к необходимой области, как показано на рис. 1, а также без использования оптоволокну для случаев, когда излучение лазера и подсветки формируется оптической системой для наведения на необходимую область (рис.2).

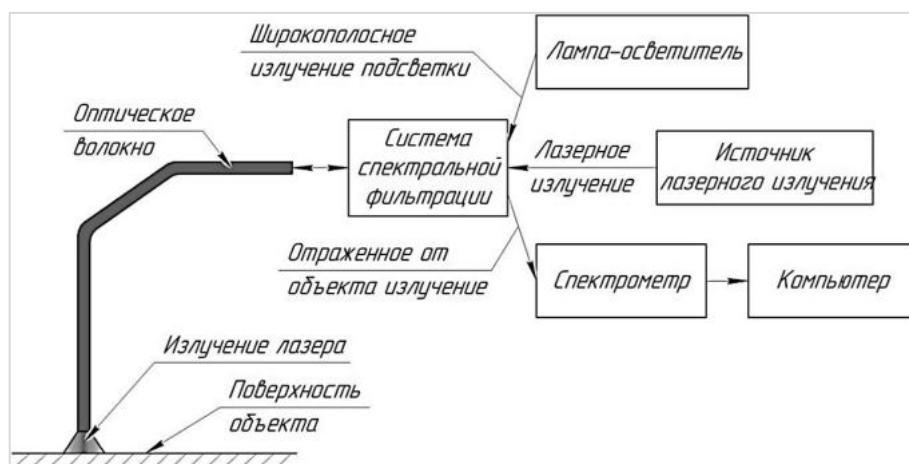


Рис. 1. Схема системы обратной связи с использованием оптоволокну

В разрабатываемом нами прототипе в качестве лампы подсветки используется галогенная лампа AvaLight Hal-S фирмы Avantes мощностью 10Вт, с активным охлаждением. Излучение этой лампы находится в диапазоне длин волн от 360 до 2500нм [5]. В подсистеме анализа и обработки данных используется спектрометр AvaSpec-2048 фирмы Avantes, который работает с длинами волн от 300 до 1100нм [6]. Стандартное программное обеспечение (ПО) AvaSoft 7.5.0 для работы с данными, получаемыми со спектрометра, не обеспечивало необходимых возможностей работы с данными для разрабатываемого прототипа системы обратной связи. Основным недостатком стандартного ПО было то, что процесс сохранения данных об одном спектре занимал от 10 до 15 секунд, за которые происходили значительные изменения спектральных харак-

теристик объекта, подвергаемого воздействию, что не позволяло отслеживать изменения во время воздействия и производить оценку динамики изменений спектров по окончании эксперимента. Для предлагаемой системы технического зрения является важным отслеживание динамики изменения спектральных характеристик. Поэтому была написана программа для работы со спектрами. Функционал программы позволяет отображать получаемые спектры не только в текущий момент времени, но и также в динамике за промежуток времени в виде поверхности спектров. Дополнительно была добавлена возможность отображения производных первого и второго порядка по частоте и времени, для отслеживания резких характерных изменений спектральных характеристик. Также по сравнению со стандартным ПО, написанное ПО позволяет сохранять спектры в течение некоторого промежутка времени, а не определенный момент времени. Как и в стандартном ПО в разработанном ПО отображение спектра зависит от настроек временных параметров – времени интеграции и усреднения. При низкой интенсивности поступающего на спектрометр сигнала для увеличения различимости спектральных составляющих можно увеличить время накопления сигнала. В написанном ПО временные параметры также определяют частоту записи спектров, таким образом при большом времени накопления сигнала скорость обратной связи будет ограничена. На рис. 3 представлено окно написанного программного обеспечения. На рис. 4 показан объемный график, полученный на основе данных, которые были записаны с помощью разработанной программы.

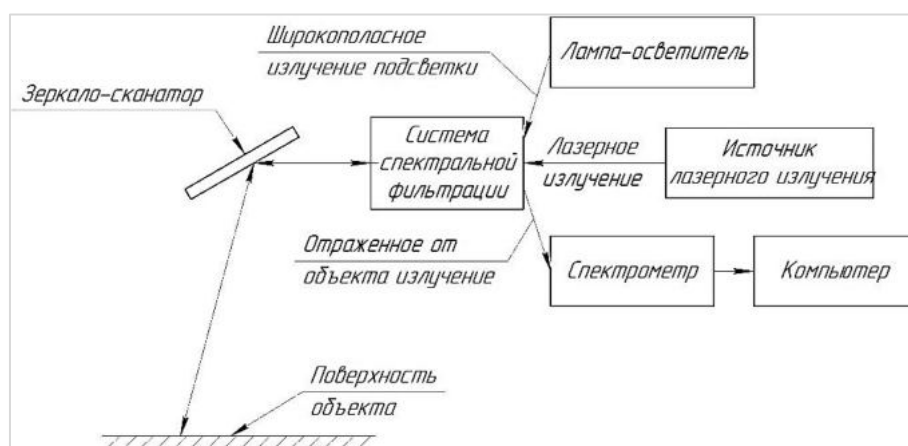


Рис. 2. Схема системы обратной связи на открытой оптике

Анализ полученной степени воздействия на поверхность объекта, подвергающегося воздействию, производится по спектральным составляющим обратно отраженного объектом излучения лампы подсветки. Для различных объектов, подвергаемых воздействию, могут быть выявлены длины волн, характерные для определения необратимости воздействия на объект. По этим спектральным областям будет возможно выполнять отслеживание параметров отражения для прекращения воздействия на поверхность объекта, чтобы избежать чрезмерного воздействия на объект. На рис. 5 и 6 показаны спектры до и после воздействия лазерным излучением на объект, которые были получены в ходе нескольких экспериментов.

Система обратной связи для системы технического зрения, основанная на анализе спектральных характеристик объекта подвергаемого воздействию, может быть использована как дополнение к визуальной оценке степени воздействия, так и в случаях, когда визуальная оценка невозможна. Возможность использования системы самостоятельно и как дополнение делает систему перспективной для дальнейшего развития. В настоящее время ведется работа по дальнейшей автоматизации методики анализа спектральных характеристик.

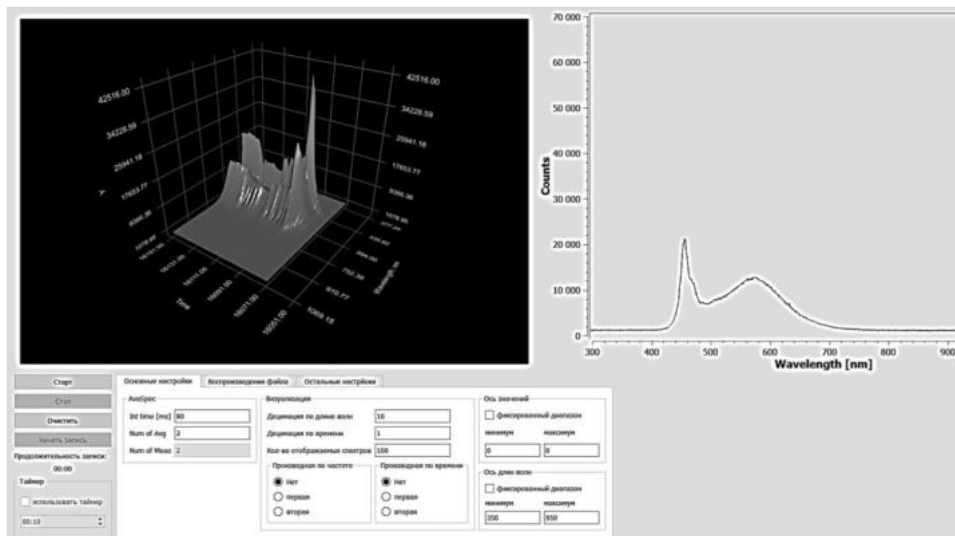


Рис. 3. Окно программы

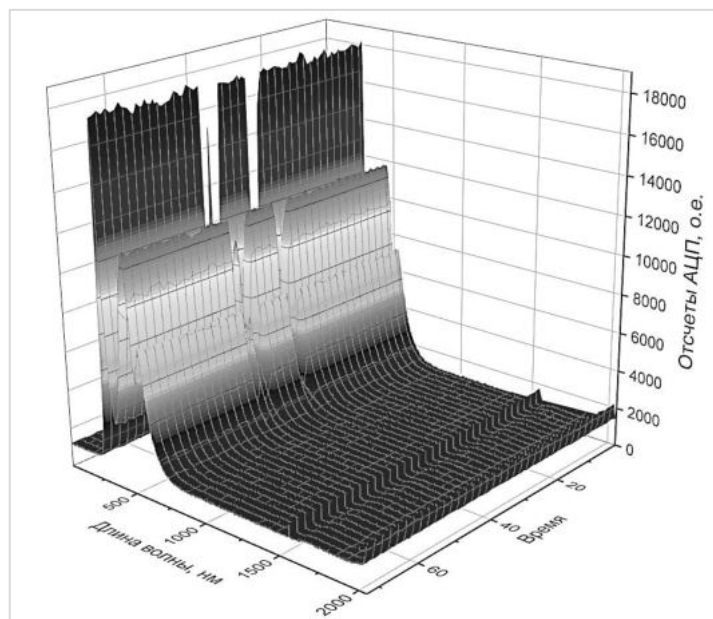


Рис. 4. График поверхности изменения спектра в ходе эксперимента

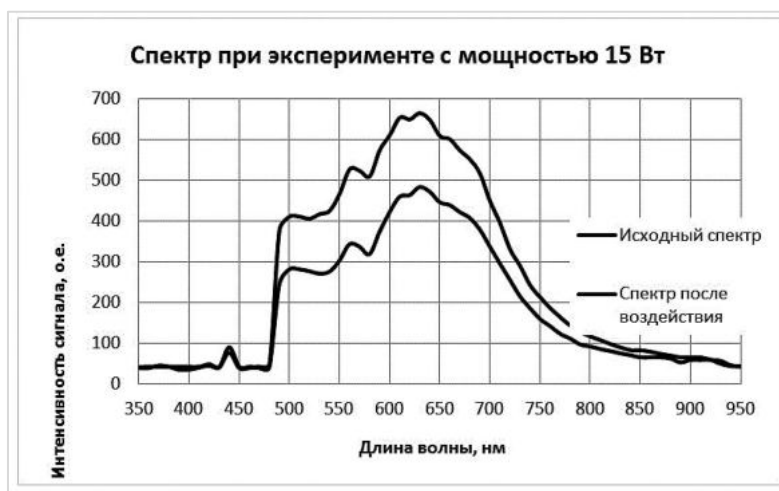


Рис. 5. Спектры до и после воздействия излучением с мощностью 15 Вт

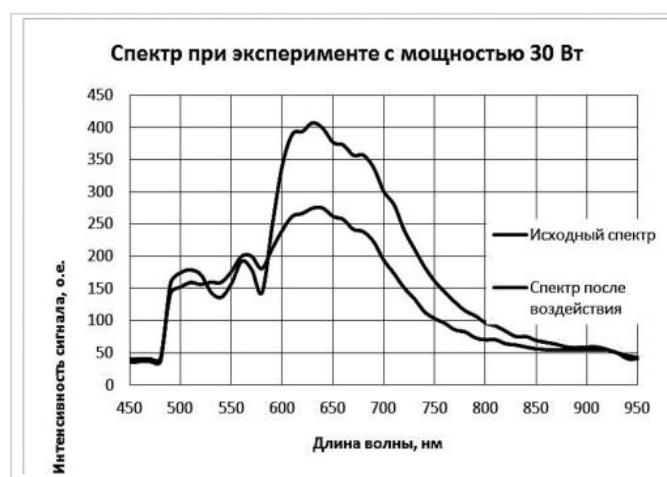


Рис. 6. Спектры до и после воздействия излучением с мощностью 20 Вт

Библиографический список

1. *H. Weber, L. Schmitz, A. Heinze, L. Ruprecht, M. Sagerer-Gerhardt.* The Development of a laser catheter with improved monitoring of lesion formation during arrhythmia ablation // Nova Science Publishers, Inc. 2017, P. 4 – 49.
2. *Катанов Е. С., Ерёмин Т. Н., Семёнов А. В.* Эндоваскулярная лазерная коагуляция и физиотерапия при лечении варикозной болезни вен нижних конечностей // Вестник Чувашского университета. 2014. №2. С. 251 – 256.
3. *Борейшо А. С., Ким А. А.* Ограничения в применении волоконно-оптических технологий для дистанционной передачи энергии // Радиопромышленность. 2017. №4. С. 34 – 41.
4. *Кочин Л. Б., Страхов С. Ю.* Лазерная система передачи энергии и информации // Лазерно-информационные технологии в медицине, биологии, геоэкологии и транспорте-2016. Труды XXIV Международной конференции. 2016. С. 15 – 16.

5. Галогенный источник света AvaLight-HAL [Электронный ресурс]: URL: <http://www.avantes.ru/production/lightsource/tec/avalight-hal.php> (дата обращения 20.10.2020).

6. Спектрометр AvaSpec-2048 [Электронный ресурс]: URL: <http://www.avantes.ru/spectrometer/tec/avaspec2048.php> (дата обращения 20.10.2020).

УДК 681.51

ЗАКОНЫ СТАБИЛИЗАЦИИ УГЛОВОГО ПОЛОЖЕНИЯ КВАДРОКОПТЕРА В РЕЖИМЕ ВИСЕНИЯ

В. С. Чадаев

Казанский национальный исследовательский технический университет им. А. Н. Туполева – КАИ

Основным направлением при разработке подобных БПЛА является повышение автономности полета, что в свою очередь увеличивает надежность аппарата, обеспечивает простоту в использовании, не требуя высокого уровня квалификации оператора, а также снижает общие затраты на выполнение задания.

На сегодняшний день разработка модели системы автоматического управления САУ квадрокоптером является актуальной задачей. Основная задача системы управления состоит в том, чтобы стабилизировать квадрокоптер в заданных координатах.

Данная работа посвящена разработке математического описания квадрокоптера и построение ее системы управления углового положения в режиме висения с помощью различных методов.

Для начала была получена система уравнений, являющаяся математическим описанием объекта управления «квадрокоптер» без учета внешних воздействий (1) [1]:

$$\begin{aligned} \ddot{x} &= \frac{T}{M} (c_\varphi s_\theta c_\psi + s_\varphi s_\psi) \\ \ddot{y} &= \frac{T}{M} (c_\varphi s_\theta s_\psi - s_\varphi c_\psi) \\ \ddot{z} &= \frac{T}{M} c_\varphi c_\theta - g \\ \begin{cases} \ddot{\varphi} = \frac{(J_y - J_z)\dot{\theta}\dot{\psi}}{J_x} + \frac{\tau_\varphi}{J_x} \\ \ddot{\theta} = \frac{(J_z - J_x)\dot{\varphi}\dot{\psi}}{J_y} + \frac{\tau_\theta}{J_y} \\ \ddot{\psi} = \frac{(J_x - J_y)\dot{\varphi}\dot{\theta}}{J_z} + \frac{\tau_\psi}{J_z} \end{cases} \end{aligned} \quad (1)$$

Разработанная упрощенная математическая модель квадрокоптера (1), состоящая из шести дифференциальных нелинейных уравнений, с учетом указанных в данном разделе допущений позволяет в дальнейшем производить компьютерное моделирование и разработку системы управления.

В качестве внешних возмущений были взяты ступенчатые функции:

$$\begin{aligned}
 \ddot{x} &= \frac{T}{M} (C_\varphi S_\theta C_\psi + S_\varphi S_\psi) + d_1 \\
 \ddot{y} &= \frac{T}{M} (C_\varphi S_\theta C_\psi + S_\varphi S_\psi) + d_2 \\
 \ddot{z} &= \frac{T}{M} C_\varphi C_\theta - g + d_3 \\
 \ddot{\varphi} &= \frac{(J_{yy} - J_{zz})\dot{\theta}\dot{\psi}}{J_{xx}} + \frac{\tau_\varphi}{J_{xx}} + d_4 \\
 \ddot{\theta} &= \frac{(J_{zz} - J_{xx})\dot{\varphi}\dot{\psi}}{J_{yy}} + \frac{\tau_\theta}{J_{yy}} + d_5 \\
 \ddot{\psi} &= \frac{(J_{xx} - J_{yy})\dot{\varphi}\dot{\theta}}{J_{zz}} + \frac{\tau_\psi}{J_{zz}} + d_6
 \end{aligned} \tag{2}$$

где d_i —внешние возмущения в виде ступенчатых функции.

Реализация системы уравнений, описывающих объект управления, в виде совокупности блоков пакета Simulink представлена на рис. 1.

После составления математической модели в MatLab Simulink требуется организовать систему управления. Для этого использовали несколько способов: с помощью ПИД-регулятора и нечеткого регулятора.

Смоделировали систему управления в программной среде Simulink [2]. Синтез управления угла крена и тангажа производился по очереди отдельно друг от друга. Схема моделирования показана на рис 2.

Таблица 1
Параметры квадрокоптера

Описание показателя	Номинальное числовое значение показателя
Масса собранной конструкции (M)	1,5 кг
Масса привод с ESC и винтом (Mm)	0,1 кг
Радиус описывающей сферы центральной части (Rc)	0,0625 м
Расстояние от центра масс до оси вращения винта (lr)	0,225 м
Масса центральной части квадрокоптера (Mc)	1,1 кг

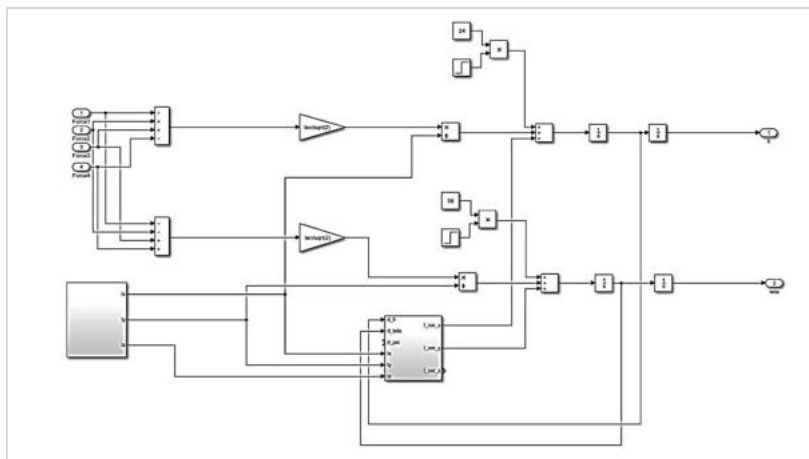


Рис. 1. Реализация компьютерной модели объекта управления

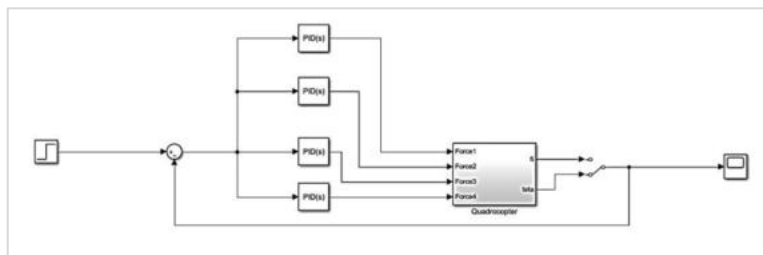


Рис. 2. Схема моделирования системы с ПИД-регулятором

Сначала провели моделирование системы по углу крена. Для моделирования объекта управления с ПИД-регулятором в программной среде Simulink использовали встроенный регулятор из библиотеки PID Controller.

ПИД-регуляторы были настроены таким образом, чтобы перерегулирование $\sigma \leq 10\%$. Результат моделирования представлен на рис. 3 – 4.

Далее по такому же принципу провели моделирование по углу тангажа.

Таким образом, были получены следующие результаты моделирования, изображенные в таблице 2.

Из полученных характеристик видно, что стабилизация по крену в 2 раза быстрее, а перерегулирование чуть меньше, чем по тангажу. Для улучшения характеристик использовали другой метод управления – нечеткий регулятор [3].

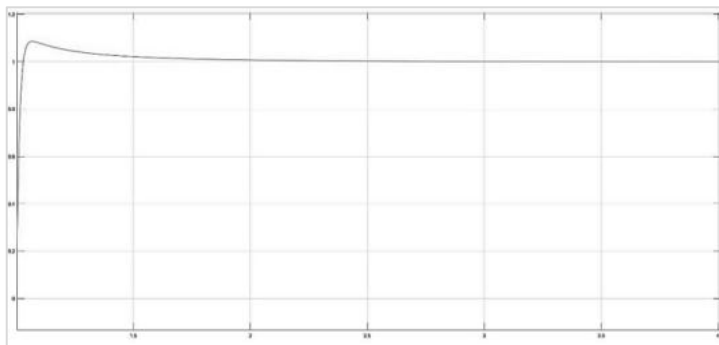


Рис. 3. Результаты моделирования для угла крена

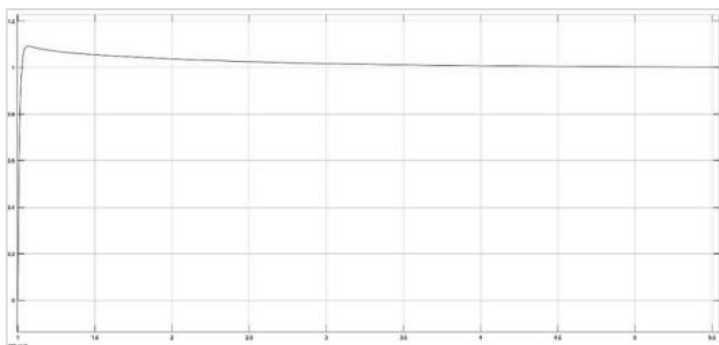


Рис.4. Результаты моделирования для угла тангажа

Таблица 2
Результаты моделирования САУ с ПИД-регулятором

Угол	Время переходного процесса (5% трубка)	Перерегулирование в %	Установившаяся ошибка
По крену	0.3	8	1
По тангажу	0.6	9	1

Правила для нечеткого регулятора были сформированы согласно таблице 3.

Таблица 3
Таблица правил для нечеткого регулятора

e	de	ОБ	ОМ	Н	ПМ	ПБ
ПБ	Н	Н	ПМ	ПМ	ПМ	ПБ
ПМ	ОМ	ОМ	Н	ПМ	ПМ	ПМ
Н	ОМ	ОМ	ОМ	Н	ПМ	ПМ
ОМ	ОМ	ОМ	ОМ	ОМ	Н	ПМ
ОБ	ОБ	ОМ	ОМ	ОМ	ОМ	Н

ОБ, ОМ – отрицательные большое и малое соответственно; Н – нулевое; ПБ, ПМ – положительные большое и малое соответственно.

Структурная схема системы управления представлена на рис/ 5 [4].

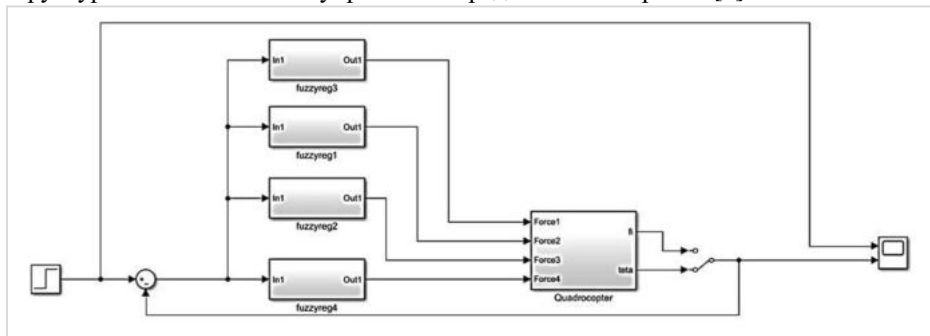


Рис.5. Схема моделирования системы с нечетким регулятором

В результате были получены следующие переходные процессы, представленные на рис.6.

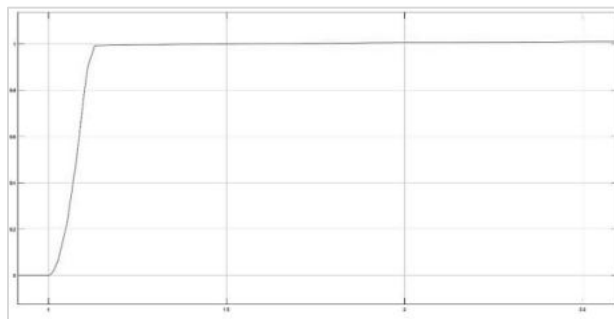


Рис.6. Результаты моделирования по крену

Также провели моделирование по тангажу. Получены следующие переходные процессы по углу тангажа, изображенные на рис. 7.

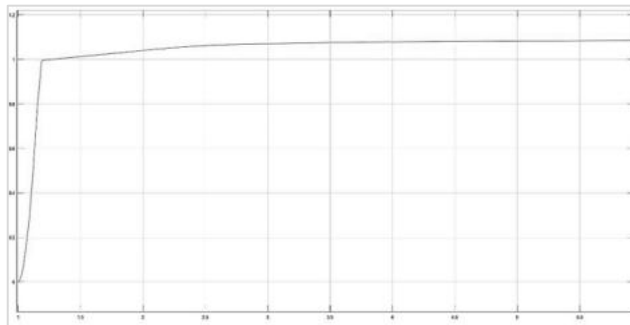


Рис.7. Результаты моделирования по тангажу

В результате были получены следующие результаты моделирования, изображенные в таблице 4.

Таблица 4
Результаты моделирования САУ с нечетким регулятором

Угол	Время переходного процесса (5% трубка)	Перерегулирование в %	Установившаяся ошибка
$V \varphi$	0.2	0	1.01
По тангажу	0.6	0	1.08

Глядя на таблицу 2 и 4 и сравнивая результаты, можно сказать, что, используя нечеткий регулятор, мы полностью избавляемся от перерегулирования, а время переходного процесса практически не изменяется, но установившееся значение по тангажу и крену выше, чем требуется. И если по крену это превышение не значительно, то по тангажу наблюдается достаточно большое отклонение.

В ходе выполнения работы была разработана система стабилизации углового положения квадрокоптера в режиме висения.

Для достижения этой цели по ходу проекта получили математическое описание квадрокоптера, реализовали необходимые уравнения в Matlab SimuLink, а также, разработали систему управления с помощью различных методов, таких как: использование ПИД-регулятора, нечеткого регулятора.

Научный руководитель – Р. Н. Файзутдинов.

Библиографический список

1. Гурьянов А. Е. Моделирование управления квадрокоптером. Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2014. 13 с.
2. Modeling and Simulation of Quadcopter using PID Controller. [Электронный ресурс]. URL: <https://pdfs.semanticscholar.org/ffa9/144586ab9e218ac046cac72c0eff61d091d6.pdf>.
3. Пегат А. Нечеткое моделирование и управление: Адаптивные и интеллектуальные системы. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2013. 798 с.
4. Adaptive Fuzzy Control of Quadrotor. [Электронный ресурс]. URL: <https://scholarworks.rit.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=10776&context=theses>.

И. С. Широков

Балтийский государственный технический университет «Военмех» им. Д. Ф. Устинова

В настоящее время жизнь почти каждого человека связана с хранением каких-либо данных на различных носителях. Количество различных версий файлов порой доходит до десятков единиц, при том, что разные версии могут храниться в совершенно разных каталогах или даже на разных устройствах. Синхронизация всех версий файлов из всех каталогов вручную займёт у пользователя огромное количество времени. В настоящее время в открытом доступе не существует метода массового сравнения файлов, который можно было бы использовать как основу для синхронизации данных. Такие алгоритмы как правило являются частью ограниченного программного обеспечения и являются коммерческой тайной конкретной компании разработчика.

Главная цель синхронизации данных – это избавиться от дубликатов файлов. Для этого необходимо сравнить каждый файл с каждым. В свою очередь сравнение файлов осуществляется с целью отнести определенную пару файлов к одной из 4 групп:

- файлы одинаковые по имени, но различные по содержанию;
- файлы разные по имени и разные по содержанию;
- файлы разные по имени и одинаковые по содержанию;
- файлы одинаковые по имени и одинаковые по содержанию.

Под содержимым файла понимается его двоичное представление в памяти компьютера.

Сравнение файлов – достаточно дорогостоящая операция с точки зрения вычислительных ресурсов, которая требует выполнения блокировки, чтения и снятия блокировки с каждой пары файлов. При классическом побайтовом сравнении файлов такое сравнение может занять значительное количество времени из-за того, что для сравнения каждой пары файлов необходимо читать файл сначала. Если использовать попарное побайтовое сравнение N файлов, то общее количество сравнений будет составлять: $C_N^2 = \frac{N(N-1)}{2} \approx \frac{N^2}{2}$. Это показывает то, что при достаточно большом количестве файлов, процесс сравнения файлов может занять значительное количество времени, а использование побайтового сравнения не эффективно [1].

Проблему многократного чтения одного и того же файла можно решить с помощью хэш-функций.

Хэш-функция – функция, отображающая строки бит в строки бит фиксированной длины и удовлетворяющая следующим свойствам:

1. По данному значению функции сложно вычислить исходные данные, отображаемые в это значение;
2. Для заданных исходных данных сложно вычислить другие исходные данные, отображаемые в то же значение функции;
3. Сложно вычислить какую-либо пару исходных данных, отображаемых в одно и то же значение [2].

Хэш-функции делятся на два класса: хэш-функции без ключа и хэш-функции с ключом. С точки зрения ускорения процесса сравнения файлов интерес представляют только хэш-функции без ключа [3].

Хэш-функции без ключа делятся на слабые и сильные. Слабой хэш-функцией называется односторонняя функция $H(x)$, удовлетворяющая следующим условиям:

- 1.a Аргумент может быть строкой бит произвольной длины;
- 1.b Значение функции $H(x)$ должно быть строкой бит фиксированной длины;
- 1.c Значение $H(x)$ легко вычислить;

Изображение принципа работы односторонней хэш функции приведен на рис. 1.



Рис. 1. Принцип работы односторонней хэш функции

Пара значений (x_1, x_2) , такая что $H(x_1) = H(x_2)$ называется коллизией хэш-функции. Основное отличие сильных хэш сумм от слабых, это значительно меньшая вероятность возникновения коллизии, но при этом время вычисления такого хэша будет значительно выше.

Сильной хэш-функцией называется односторонняя функция $H(x)$, удовлетворяющая условиям 1-3 и дополнительному условию в следующей формулировке: вычислительно трудно подобрать любую пару значений (x_1, x_2) , таких что $H(x_1) = H(x_2)$.

Любая сильная хэш-функция соответствует требованиям для слабой, обратное в общем случае неверно. Наиболее известными бесключевыми хэш-функциями являются функции семейства SHA и MD [4].

Проанализировав как можно использовать слабые и сильные хэш функции для сравнения файлов, можно предварительно выделить этапы, которые будут обязательными для разрабатываемого метода. Список обязательных этапов:

- разделение файлов на блоки одинакового размера. Этот этап требует определить размер блока для использования слабой хэш функции. Если размер файла не позволяет уместить его в блок необходимого размера, необходимо дополнить его незначащими нулями;
- построение слабого хэша. На этом этапе необходимо выбрать хэш-функцию, которая позволит для известного размера блока эффективно, с точки зрения затраченного времени и вероятности коллизии построить слабый хэш;
- сравнение слабого хэша, построенного на основе выделенных ранее блоков;
- при совпадении слабого хэша необходимо построить сильный хэш вероятность коллизии которого будет стремиться к минимуму, не зависимо от содержимого блока. На этом этапе необходимо проанализировать что будет эффективнее, построение хэша на том же блоке, на котором строился слабый или объединить несколько маленьких блоков в 1 большой и построить хэш уже на его основе.
- сравнение сильного хэша.
- при совпадении всех сильных хэшей с большей долей вероятности файлы будут совпадать по содержанию.

Использование этих опорных точек позволит полностью отказаться от побайтового сравнения файла, а также свести к минимуму операции обращения к ПЗУ, за счет повторного использования ранее рассчитанных хэшей, которые для сравниваемых файлов будут храниться в ОЗУ. Метод будет эффективнее по сравнению с побайтовым сравнением, когда количество сравниваемых файлов больше двух.

Для того что бы выбрать размер блока и слабую хэш функцию, необходимо провести ряд тестов с различными параметрами. Большой размер блока позволит за меньшее количество

операций с диском полностью прочитать файл, но, с другой стороны, это увеличит вероятность появления коллизий.

Рассмотрим следующий набор хэш функций: MD4, MD5, SHA-1, SHA2-256, SHA3-256, SHA2-512, SHA3-512. Тесты с использованием этих хэш функций будут производиться с использованием библиотеки Qt на языке C++.

Для тестов необходимо подготовить тестовые данные различных размеров и протестировать их на различных хэш функциях. Выберем произвольный набор размеров блока и применим к ним все вышеописанные хэш-функции. Критерием оценки будет служить время для расчета хэш суммы для блока. Для того что бы свести к минимуму внешнее воздействие, хэш будет рассчитываться для каждого блока 100000 раз. Итоговое время подсчета хэша будет вычислено как среднее арифметическое значение [5]. Результаты тестирования слабого хэша в наносекундах представлены в таблице 1.

Из результатов тестов можно сделать вывод о том, что для всех алгоритмов подсчета хэша время построения увеличивается пропорционально увеличению размера хэшируемого блока. Алгоритмы MD4, MD5 и SHA-1 показали самое малое время хэширования блока. Из всех 3 алгоритмов построения хэш суммы самым современным является SHA-1, и он же имеет минимальную вероятность коллизии. Эффективным размером блока является 4096 байт. Этот размер при использовании алгоритма SHA-1, позволит считать хэш-сумму для 1 блока за 6645 наносекунд. Для файла размером 1 Гб количество блоков размером 4096 байт, составит 26214. Время, которое потребуется что бы посчитать хэш $6645 \cdot 262144 = 1741946880$ наносекунд или 1,7секунды. Это худший случай, при котором необходимо посчитать хэш для каждого блока. Полученное время построения хэшей для файла размером 1 Гб является допустимым для решения поставленной задачи.

Таблица 1
Результаты тестирования слабого хэша

Размер блока в байтах	MD4	MD5	SHA-1	SHA2-256	SHA3-256	SHA2-512	SHA3-512
512	775	1121	1056	3846	1720	3717	3186
1024	1331	1956	1856	7124	3107	6647	5663
2048	2455	3641	3451	13690	6045	12292	10663
4096	4673	7083	6645	26781	11430	24089	20734
8192	9140	13894	12920	53027	22220	47258	41235
16384	18069	27554	25340	105243	44062	93798	82376

Задачей сильного хэша будет посчитать максимально уникальное значение хэш блока или группы блоков. Расчет сильного хэша будет занимать значительное количество времени, поэтому многократно это операцию выполнять не эффективно.

Главным критерием алгоритма подсчета сильного хэша является низкая вероятность к коллизии. Такими свойствами обладают рассмотренные ранее алгоритмы: SHA2-256, SHA3-256, SHA2-512, SHA3-512.

Для того что бы минимизировать количество операций подсчета сильного хэша необходимо, взять размер блока для сильного хэша равным, нескольким блокам для слабого хэша. Необходимо провести тестирование с различными размерами блоков. И оценить время подсчета хэш суммы для блоков различного размера. Для устранения случайной погрешности необходимо посчитать хэш для каждого блока 10000 раз. Итоговое время подсчета хэша будет братья как среднее арифметическое значение. Результаты тестирования сильного хэша в наносекундах приставлены в таблице 2.

Таблица 2
Результаты тестирования сильного хэша

Размер блока в байтах	SHA2-256	SHA3-256	SHA2-512	SHA3-512
2*4096	52030	22031	47379	40907
4*4096	103789	44154	94271	81689
8*4096	207953	86799	187009	165236
16*4096	410044	173109	366502	327547
32*4096	824938	347011	745670	653148
64*4096	1646600	693364	1491154	1301071

Из результатов тестов можно сделать вывод, что алгоритм SHA2-256 показал во всех тестах наихудший показатель по производительности, при этом длина хэша составляет всего 256 бит, что обеспечивает намного меньшую устойчивость к коллизиям. По времени вычисления хэша со значительным опережением выигрывает алгоритм SHA3-256 [6]. Остальные алгоритмы SHA2-512 и класса SHA3 имеют большую длину хэша – 512 бит. По времени выполнения среди алгоритмов этого класса более производительным является SHA3-512. Из значений видно, что при увеличении количества блоков для хэширования время выполнения увеличивается более чем в 2 раза у алгоритма SHA3-512. Следовательно, можно сделать вывод, что эффективнее посчитать несколько хэшей SHA3-256 меньшего размера, чем 1 блок большего размера с использованием алгоритма SHA3-512.

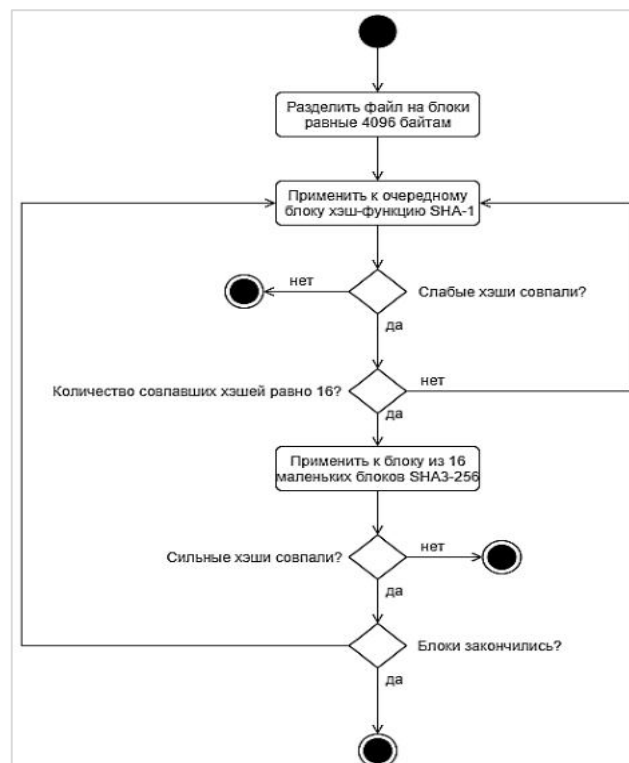


Рис. 2. Диаграмма активности, описывающая процесс сравнения файлов

Алгоритм SHA3-256 является максимально эффективным для решения задачи построения сильного хэша. Размер блока для построения хэша равен – 16 блоков по 4096 байт, что суммарно 65536 байт.

Разработанный метод позволит сравнивать большое количество файлов друг с другом и обобщенно можно выделить следующие этапы:

1. разделение файлов на блоки одинаково размера 4096 байт;
2. построение слабого хэша с использованием алгоритма SHA-1;
3. сравнение слабых хэшей для блоков с одинаковым индексом для 2 файлов;
4. построение сильного хэша над 16 блоками каждый размером 4096 байт с применением алгоритма SHA3-256, при совпадении 16-ти слабых хэшей подряд;
5. сравнение сильных хэшей;
6. при совпадении всех сильных хэшей файлы с достаточной большой вероятностью можно считать одинаковыми;

Описанный процесс сравнения файлов можно представить в виде диаграммы активности, изображённой на рис. 2.

В ходе данной работы был разработан метод, позволяющий эффективно сравнивать множество файлов. Разработанный метод по сравнению с классическим побайтовым сравнением файлов превосходит в производительности последний, начиная с количества файлов, равным 3, и имеет много меньшее количество операций сравнения на каждую пару файлов. Разработанный метод массового сравнения файлов может быть использован в программах синхронизации данных.

Библиографический список

1. Анализ алгоритмов шифрования. URL: <http://nit.miem.edu.ru/sbornik/2009/sec7/007.html> (дата обращения 05.03.2021).
2. Хэш-функции. URL: <https://cryptoperson.ru/cryptography/chto-takoe-hjesh-kod-i-hjesh-funkcija-prakticheskoe-primenenie-obzor-populjarnyh-algoritmov> (дата обращения 04.03.2021).
3. Не криптографические хэш-функции URL: <https://habr.com/ru/post/178955/> (дата обращения 05.03.2021).
4. Работа алгоритма rsync URL: [https://ru.bmstu.wiki/Rsync_\(Remote_Synchronization\)](https://ru.bmstu.wiki/Rsync_(Remote_Synchronization)) (дата обращения 05.03.2021).
5. Производительность работы хэшей. URL: <https://habr.com/ru/company/globalsign/blog/444144/> (дата обращения 06.03.2021).
6. Работа алгоритма SHA-256 URL: <https://tproger.ru/translations/sha-2-step-by-step/> (дата обращения 05.03.2021).

УДК 621.391

АЛГОРИТМ ЧАСТОТНО-ВРЕМЕННОЙ СИНХРОНИЗАЦИИ OFDM СИГНАЛОВ В КВ РАДИОКАНАЛЕ

Ю. А. Шмелев

Российский институт мощного радиостроения АО «РИМР»

В последнее время в коротковолновой (КВ) радиосвязи все большее применение находит использование специальных сигналов устойчивых к замираниям, межсимвольной интерференции (МСИ) и обладающих высокой спектральной эффективностью. Одним из наиболее эффективных таких сигналов является OFDM (orthogonal frequency-division multiplexing) сиг-

нал. OFDM сигнал – это сочетание модуляции и мультиплексирования. Суть его заключается в том, что информационный поток разбивается на множество отдельных каналов, которые модулируются передаваемыми данными, а затем происходит мультиплексирование для создания единого OFDM группового сигнала. При этом каждая поднесущая модулируется на низкой символьной скорости, что позволяет использовать защитные интервалы между символами, не теряя при этом общую скорость передачи информации. В общем виде формируемый на длительности интервала ортогональности T_0 OFDM сигнал можно представить в следующем виде, выражение (1):

$$S(t) = \sum_{m=1}^M A_m \sin(2\pi f_m t + \psi_m), \quad (1)$$

где M – количество используемых субчастот; A_m – амплитуда; ψ_m – начальная фаза гармоники на m -й частоте; f_m – значение m -й частоты, которое определяется выражением (2):

$$f_m = \frac{k_m}{T_0}, \quad (2)$$

где k_m – целое число, соответствующее номеру гармоники для частоты с номером m .

Главным требованием OFDM сигнала является ортогональность всех поднесущих, что позволяет осуществить частотное уплотнение канала без взаимного влияния поднесущих друг на друга. Однако при использовании OFDM сигналов есть недостатки. Во-первых, для реализации OFDM технологии необходимо наличие достаточных вычислительных мощностей, данная проблема при современном уровне развития электроники и нанoeлектроники получила решение. Главной и до сих пор до конца не решенной проблемой остается необходимость в установлении точной частотно-временной синхронизации сигнала.

Для OFDM сигнала очень важно осуществить точную частотно-временную синхронизацию. Данная необходимость обусловлена использованием большого количества поднесущих, которые при демодуляции сигнала для правильного восстановления сообщения должны быть идентифицированы в нужном порядке. Многолучевость в канале связи вызывает изменение фазы сигнала и затрудняет процесс установления синхронизации. В общем случае положение синхронизма в частотно-временной плоскости можно определить путем нахождения максимума математического ожидания функционала, выражение (3):

$$E\left\{\int_{t_0}^{T_0+t_0} \Phi[s(t)\cos\delta\omega t - s(t)\sin\omega t]dt\right\} \rightarrow \max_{\delta\omega, t_0}, \quad (3)$$

где $E\{\}$ – символ математического ожидания; $s(t)$ – принятый OFDM-сигнал; $s(t)$ – сигнал, сопряженный по Гильберту; $\delta\omega$ – частотное рассогласование приемной и передающей сторон; t_0 – начальная временная позиция, соответствующая установленному тактовому синхронизму; T_0 – интервал ортогональности.

Существует много способов установления синхронизации с использованием тестовых сигналов. Явный недостаток в таком случае – необходимость выделять дополнительные символы, жертвуя объемом полезной информации в сигнале. Гораздо перспективнее и сложнее методы установления синхронизации, осуществляемые по информационному сигналу, используя его избыточность, предоставляемую защитным интервалом между символами. Такой подход позволяет передавать большее количество полезной информации за единицу времени [1, 2].

Для решения данной проблемы был разработан алгоритм бестестовой частотно-временной синхронизации OFDM сигналов основанный на оценке характеристик канала связи в процессе передачи информации. Алгоритм включает в себя циклическую последовательную проверку двух условий осуществления временной и частотной синхронизации соответственно. Выполнение проверки осуществления синхронизации, и ее непосредственное осуществление при возникновении рассогласований выполняют два подчиненных алгоритма.

Подалгоритм проверки, установления и поддержания временного синхронизма осуществляется на основе вычисления и сравнения отклонений разности фаз сигналов от ожидаемых значений. Практическое установление временной синхронизации достигается за счет использования выражения многомодальной плотности распределения разности фаз с неопределенным начальным сдвигом.

Для этого необходимо взять с выхода демодулятора для анализа массив значений разностей фаз принятого сигнала с шагом в один временной отсчет. В массив значений должно входить конечное число членов ряда, при этом следует ограничиться слагаемыми, которые ещё не успели внести значительного шумового вклада. По выбранному массиву значений необходимо произвести расчет плотности вероятности распределения разностей фаз на выходе демодулятора. Если восстанавливать данную плотность по массиву выбранных значений разностей фаз с шагом в один временной отсчет, вычисляемая плотность вероятности будет деформироваться к предельной форме, когда из-за фазового сдвига, обусловленного частотным смещением принятого сигнала относительно исходно переданного, произойдет разрыв тактовой синхронизации, выражение (4):

$$W_k(\Delta\phi) \rightarrow \frac{1}{2\pi}, \Delta\phi \in [-\pi, \pi]. \quad (4)$$

В таком случае показателем, который будет указывать положение момента синхронизации будет выступать расстояние между восстановленной плотностью выбранного массива значений и уже известной рассчитанной начальной плотностью вероятности распределения разности фаз (5):

$$R_k = (\sum_{m=1}^{\infty} ((a_m^k)^2 + (b_m^k)^2))^{\frac{1}{2}}. \quad (5)$$

Следовательно, если принять за начальную временную позицию t_0 , момент, соответствующий установленной тактовой синхронизации, при котором расстояние R_k между известной и восстановленной плотностями вероятности распределения разности фаз принимает свое максимальное значение на данном выбранном интервале. Можно произвести расчет плотности вероятности распределения разности фаз на следующем выбранном интервале (сделать следующий шаг), и по разности вновь рассчитанной плотности вероятности, по следующему интервалу с уже известным значением плотности вероятности предыдущего интервала, заново рассчитать расстояние R_k , и при его уходе от максимального значения обнаружить нарушение тактовой синхронизации, вызванной фазовым сдвигом в принятом сигнале из-за частотного смещения сигнала в процессе распространения. Обнаруженное нарушение будет выражено как разность максимального значения $R_{k(n)}$, соответствующее установленной тактовой синхронизации на предыдущем оцениваемом интервале n , с значением $R_{k(n+1)}$ на следующем за ним оцененном интервале: $R_{k \text{ рассогласования}} = R_{kmax(n)} - R_{k(n+1)}$. Что при демодуляции сигнала позволит сразу регистрировать по отклонению расстояния R_k от максимального значения нарушение тактовой синхронизации и выбирать момент старта окна ДПФ, учитывая смещение фазы принятого сигнала. Для этого производя сдвиг момент старта окна ДПФ на вычисленное значение расстояния R_k *рассогласования*, с целью согласования момента старта окна ДПФ с моментом начала принятой элементарной посылки и поддержанием установленной тактовой синхронизации в течении всего сеанса радиосвязи, за счет поддержания постоянным значения расстояния R_{kmax} на каждом следующем шаге анализа выбранного массива значений для оценки. Подобную операцию, для обеспечения тактовой синхронизации можно проводить, начиная с некоторого момента времени относительно начала приема сигнала, и производить вычисление значения разностей начальных фаз на соседних посылках, для всех имеющихся субчастот, двигаясь выбранным окном длительностью T_0 с шагом в один отсчет.

Конструктивное задание искомой плотности вероятности распределения разностей фаз для практического расчета значения R_k возможно благодаря использованию выражения (6):

$$W_k(\Delta\phi) = \sum_{m=0}^{\infty} a_m^k \cos(m\Delta\phi) + b_m^k \sin(m\Delta\phi), \quad (6)$$

где a_m^k и b_m^k – коэффициенты разложения, которые оцениваются по выборке следующим образом:

$$a_m^k \approx \frac{1}{L} \sum_{i=1}^L \cos(m\Delta\phi_i^k); \quad (7)$$

$$b_m^k \approx \frac{1}{L} \sum_{i=1}^L \sin(m\Delta\phi_i^k), \quad (8)$$

L – объем выборки разностей фаз; $\Delta\phi_i^k$ – выборочные значения.

Необходимо уточнить, что для расчета R_k необходимо рассматривать только те члены ряда, индексы которых кратны 2^n .

Очевидно, что при заданном отношении сигнал помеха максимальная достоверность установления временной синхронизации OFDM сигнала будет наблюдаться при использовании двухпозиционной OFM-модуляции поднесущих. При большем количестве позиций точность будет снижаться [3].

Блок-схема алгоритма, реализующего описанный выше способ установления и поддержания временной синхронизации при передаче OFDM сигнала по каналу радиосвязи представлена на рис.1.

В подалгоритме проверки, установления и поддержания частотной синхронизации для практической оценки наличия частотного смещения предлагается использовать выражение (9):

$$\delta\tilde{\omega} = \frac{\delta\tilde{\phi}}{T}. \quad (9)$$

Для этого необходимо взять с выхода демодулятора для анализа массив значений разностей фаз принятого сигнала с шагом в один временной отсчет. Так как определить частотное смещение в режиме двухпозиционной OFM-модуляции поднесущих, когда ещё неискаженные (ожидаемые) значения разности фаз на выходе модулятора принимают значения 0 и π , можно по отклонению значения разности фаз на выходе демодулятора от ожидаемого значения.

Затем необходимо определить отклоняется ли разность фаз выбранного отсчета принятого сигнала от ожидаемого значения, и, если отклонение обнаруживается, необходимо вычислить угол, на который отклоняется разность фаз от ближайшего ожидаемого значения, равного 0 или π . По полученному значению угла отклонения разности фаз для выбранного отсчета используя выражение (9) вычислить образовавшееся частотное смещение $\delta\omega$. Затем необходимо осуществить перенос спектра сигнала и осуществить компенсацию частотного смещения принятого сигнала на определенную ранее величину $\delta\omega$ путем вычисления следующего выражения в операторном виде, основанном на использовании свойств аналитического сигнала, выражение (10):

$$\dot{S}_{0(N)} = C_{(N,N)}F^{(-)}B_{(N,N)}F^{(+)}S_{1(n)}, \quad (10)$$

где $F^{(+)}$ и $F^{(-)}$ – операторы прямого и обратного ДПФ.

Вещественную часть вектора отсчетов полученного аналитического сигнала, выражение (11):

$$S_{0(n)} = \text{Re}(\dot{S}_{0(n)}), \quad (11)$$

можно использовать для последующей обработки методами цифровой обработки сигналов в качестве восстановленного на длительности интервала анализа исходного сигнала, поступающего далее на вход демодулятора.

Подобную операцию, для обеспечения частотной синхронизации можно проводить, начиная с некоторого момента времени относительно начала приема сигнала, до завершения передачи информационного сообщения [4].

Следует отметить, что описанный алгоритм позволяет компенсировать частотное смещение в реальном масштабе времени для случаев, когда частотное смещение не превышает значения $\pi/(2T)$ для двухпозиционной OFM.

Блок-схема алгоритма реализующего описанный выше способ оценки и компенсации частотного смещения для поддержания частотной синхронизации при передаче OFDM сигнала по каналу радиосвязи представлен на рис. 2.

Общая блок-схема алгоритма реализующего частотно-временную синхронизацию OFDM сигналов в КВ радиоканале представлена на рис. 3.

Рассмотренный алгоритм может применяться в системах передачи данных с использованием OFDM сигналов по многолучевым нестационарным радиоканалам. Отличительной особенностью алгоритма является тот факт, что частотно-временная синхронизация осуществляется по рабочим сигналам без введения дополнительной частотно-временной избыточности.

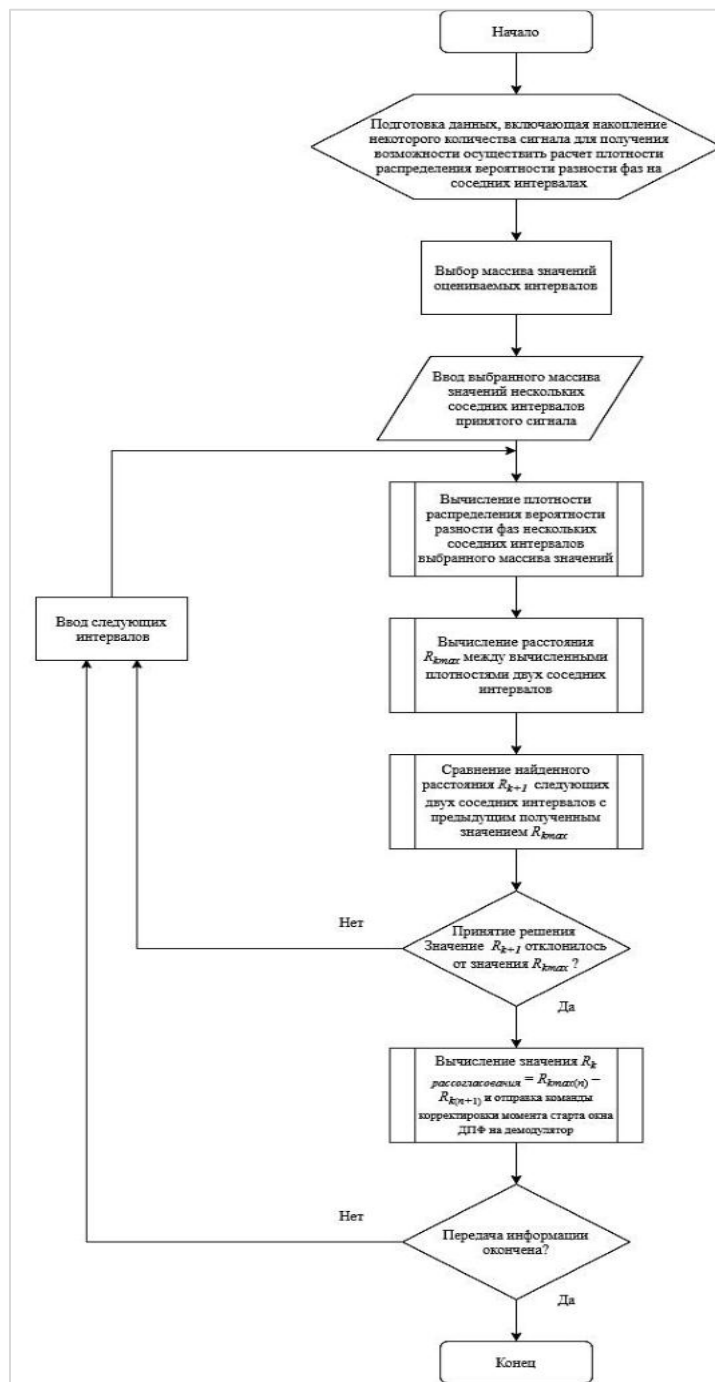


Рис. 1. Блок схема алгоритма установления временной синхронизации при передаче OFDM сигнала по каналу радиосвязи

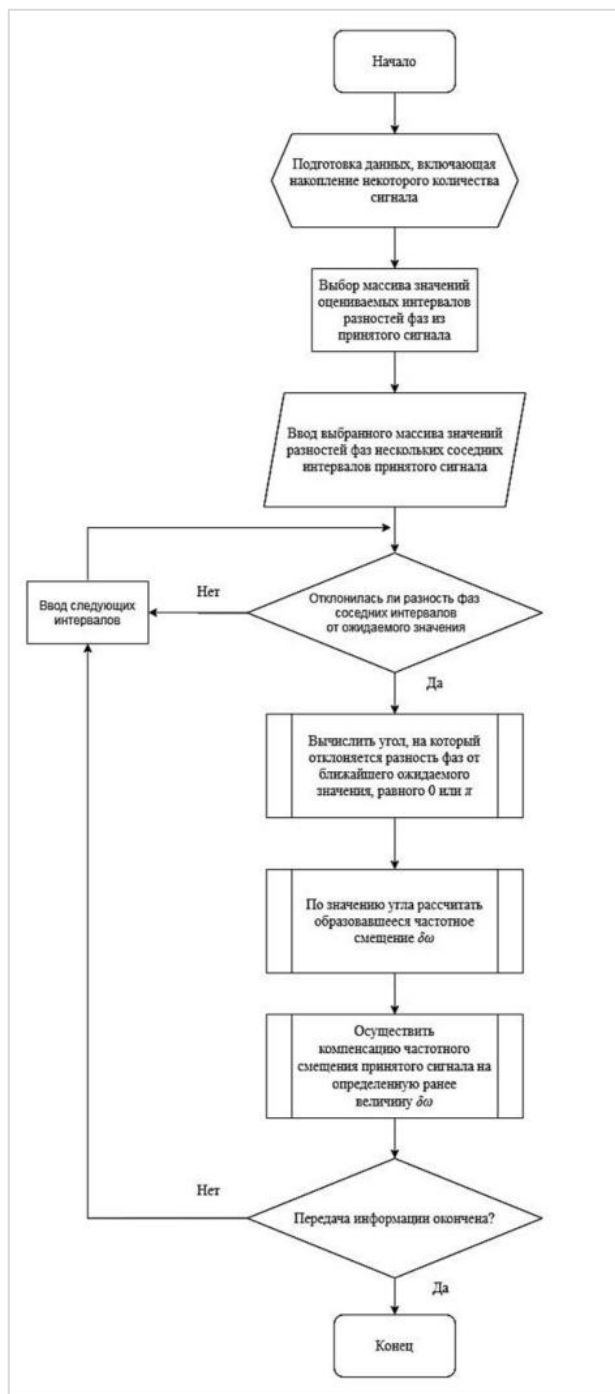


Рис. 2. Блок схема алгоритма установления частотной синхронизации при передаче OFDM сигнала по каналу радиосвязи

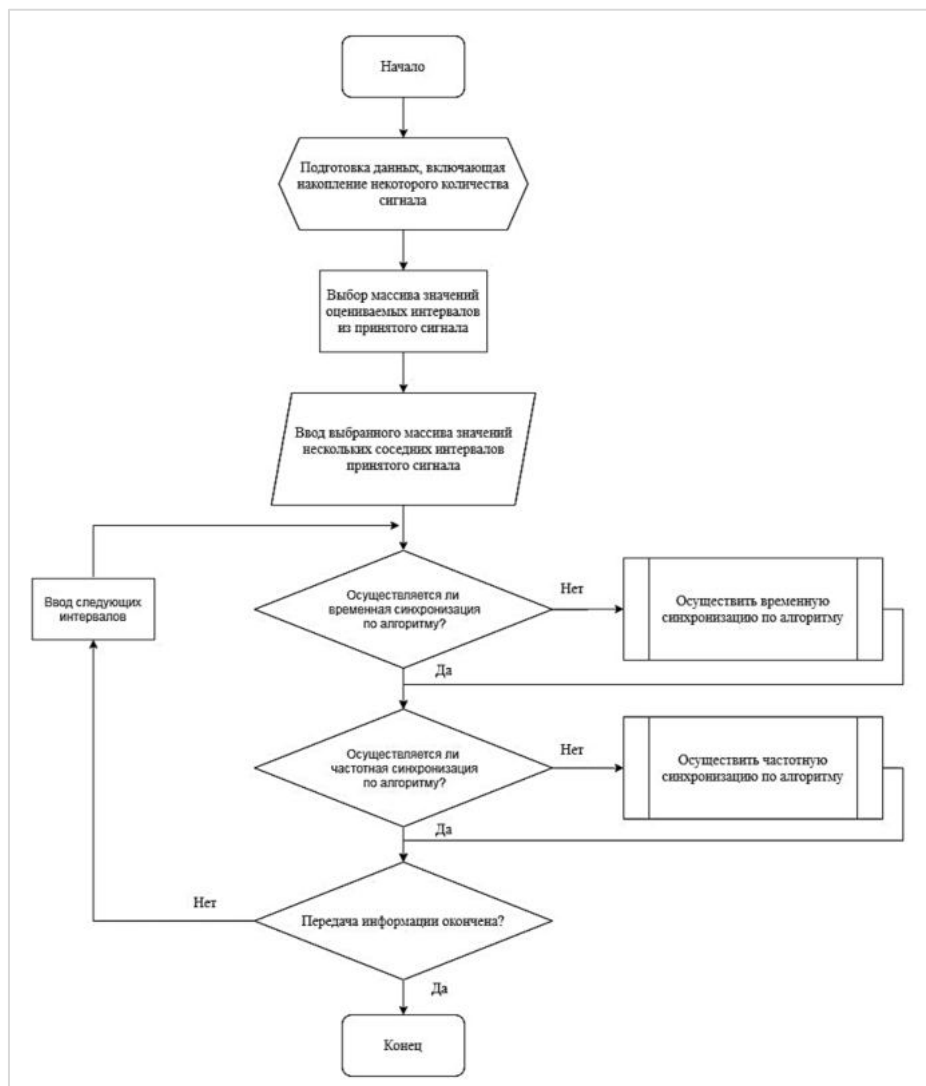


Рис. 3. Общая блок-схема алгоритма, реализующего частотно-временную синхронизацию OFDM сигналов в КВ радиоканале

Применение метода ДПФ для вычисления дискретного спектра сигнала позволяет сделать алгоритм эффективным в вычислительном плане. К достоинствам разработанного алгоритма можно отнести то, что они могут применяться для OFDM сигналов с полностью занятой полосой частот при допустимом частотном рассогласовании. Для снижения объема вычислений по алгоритму можно использовать также дискретное преобразование Фурье в рекурсивной форме.

Однако при использовании OFM-модуляции поднесущих с количеством позиций больше 2-х, для приведенного в исследовании алгоритма частотно-временной синхронизации будут снижаться характеристики точности.

Объем вычислений по описанному алгоритму позволяет использовать его и для удержания частотно-временной синхронизации в процессе ведения связи.

Библиографический список

1. Шмелев Ю. А. Использование OFDM технологии в радиосвязи // Материалы 73 МСНК ГУАП. СПб: ГУАП, 2020. Часть 2. С. 169 – 170.
2. Бакулин М. Г., Крейнделин В. Б., Шлома А. М., Шумов А. П. Технология OFDM // М.: Горячая линия – Телеком, 2019. 352 с.
3. Егоров В. В., Тимофеев А. Е. Установление частотно-временной синхронизации в многочастотных КВ-системах передачи данных // Электросвязь. 2013. № 7. С. 41 – 44.
4. Егоров В. В., Тимофеев А. Е. Компенсация частотного смещения при приеме ОФМ-сигналов // Труды 13-й Международной конференции «Цифровая обработка сигналов и ее применение». Москва, 2011. № 2. С. 186 – 188.

УДК 378.147.88

ОПЫТ ПРОВЕДЕНИЯ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ ПО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ «МЕТРОЛОГИЯ И РАДИОИЗМЕРЕНИЯ» В ДИСТАНЦИОННОМ РЕЖИМЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ ЕГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

Д. М. Ярыгин

Балтийский государственный технический университет «Военмех» им. Д. Ф. Устинова

Резкий перевод в марте 2020 года образовательного процесса в дистанционный режим, вызванный неблагоприятной эпидемиологической ситуацией, стал настоящей проблемой для профессорско-преподавательского состава вуза, в частности при решении вопроса организации и проведения лабораторных работ. Особенно остро эта проблема прослеживается в учебных дисциплинах, лабораторные работы по которым предполагают взаимодействие с реальными экспериментальными установками. Ярким примером является дисциплина «Метрология и радиоизмерения», изучаемая обучающимися кафедры И4 «Радиоэлектронных систем управления». Главной целью данной дисциплины является формирование у обучающихся навыков работы с реальными «живыми» современными измерительными средствами и комплексами.

Возможные направления решения проблемы с учётом временного перехода на реализацию образовательных программ в дистанционном режиме:

- организация удаленной (физической) лаборатории, где проводятся эксперименты;
- применение виртуальной лаборатории;
- использование комбинированной удаленной виртуально-физической лаборатории;
- применение лабораторного комплекта для дома;
- замена лабораторных работ иной формой контроля;
- перенос дисциплины или её части на следующий семестр;

На момент перевода образовательного процесса в дистанционный режим готовых решений для данной дисциплины ни по одному из вышеуказанных направлений не имелось. Анализ путей решения показал, что в кратчайшие сроки и без существенного снижения объёма и качества предусмотренных работ возможно подготовить виртуальные имитаторы лабораторных установок. Для разработки имитаторов была выбрана среда LabVIEW. Выбор был обусловлен следующими факторами:

- обучающиеся имели первичное представление о данной среде разработки из предшествующего курса «Компьютерные технологии»;

- применяемый в LabVIEW графический язык программирования G за счёт своей наглядности и понятной инженерам терминологии позволяет быстрее, чем на «текстовом» языке, реализовывать алгоритмы;

- LabVIEW позиционируется как средство создания виртуальных инструментов, поскольку визуальный интерфейс создаваемых программ и выполняемые ими действия направлены на имитацию реальных контрольно-измерительных приборов.

Результатом мероприятий по обеспечению лабораторных работ по дисциплине «Метрология и радиоизмерения», проведённых в период дистанционного обучения, стал разработанный комплекс виртуальных инструментов (ВИ):

1. Функциональный генератор;
2. Коррелятор;
3. Модулятор сигнала;
4. Генератор шума;
5. Цифровой фильтр одномерных сигналов;
6. Осциллограф со встроенным спектроанализатором;
7. Генератор шума двумерных сигналов;
8. Цифровой фильтр двумерных сигналов.

Ниже приведено краткое описание каждого ВИ.

Функциональный генератор – ВИ, позволяющий генерировать и отображать дискретные периодические сигналы синусоидальной, прямоугольной, треугольной, пилообразной формы во временной области. Лицевая панель ВИ «Функциональный генератор» представлена на рис. 1 и содержит графический индикатор «U(t)» (1) для отображения сигнала во временной области (осциллограммы), выпадающее меню «Wave form» (2) для выбора формы сигнала, поворотные переключатели для управления параметрами сигнала (амплитуда «Amplitude, V» (3); смещение «Offset, V» (4); частота «Frequency, Hz» (5); фаза «Phase, °» (6); коэффициент заполнения «Duty cycle, %» (7)), а также выпадающее меню выбора масштаба оси времени «Scale OX» (8), поворотные переключатели Cursors «T1» (9) и «T2» (10), изменяющие положение курсоров в графическом индикаторе (1) для измерения интервалов времени, окно «Data» (11) для вывода измерений (расстояние между курсорами по оси времени dT; 1/dT; положение курсора T1 по оси времени; положение курсора T2 по оси времени) и кнопку «Save» (12) для сохранения массивов данных X (время t) и Y (напряжение U) сигнала на выходе генератора в .txt-файл.

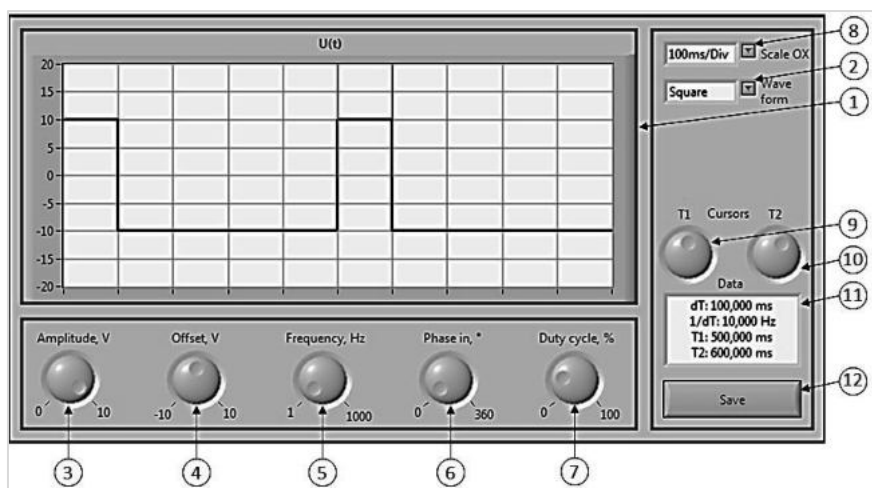


Рис. 1. Лицевая панель ВИ «Функциональный генератор»

Коррелятор – ВИ, позволяющий отображать график корреляционной функции двух сигналов. Лицевая панель ВИ «Коррелятор» представлена на рис. 2 и содержит графический индикатор «U(t)» (1) для отображения сигнала во временной области (осциллограммы), содержит графический индикатор «B(n)» (5) для отображения графика корреляционной функции, диалоговое окно выбора пути к .txt-файлу данных первого сигнала (2), диалоговое окно выбора пути к .txt-файлу данных второго сигнала (3), кнопку «Download» (4) для загрузки массивов данных X (время t) и Y (напряжение U) сигналов из .txt файлов, и кнопку «Save» (6) для сохранения массивов данных X (сдвиг n) и Y (коэффициент корреляции) графика корреляционной функции в .txt-файл.

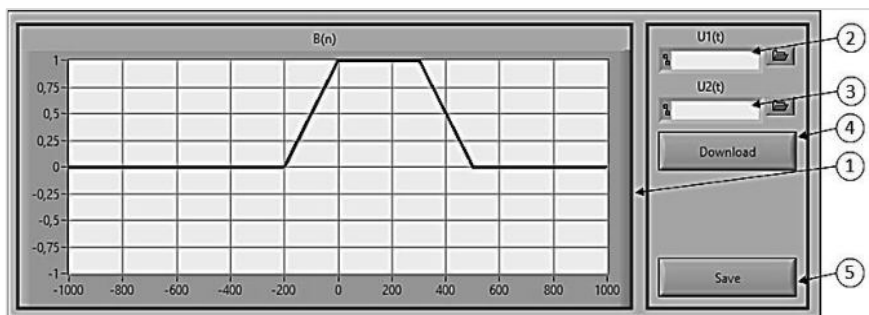


Рис. 2. Лицевая панель ВИ «Коррелятор»

Модулятор сигнала – ВИ, позволяющий генерировать, позволяющий производить амплитудную модуляцию и отображать результат во временной области. Лицевая панель ВИ «Модулятор» представлена на рис. 3 и содержит графический индикатор «U(t)» (1) для отображения сигнала во временной области (осциллограммы), диалоговое окно выбора пути к .txt-файлу данных несущего сигнала (2), диалоговое окно выбора пути к .txt-файлу данных модулирующего сигнала (3), кнопку «Download» (4) для загрузки массивов данных X (время t) и Y (напряжение U) сигналов из .txt-файлов, слайдер «M» (5) установки коэффициента модуляции [0,0.1,...1], индикатор (6) отображения установленного значения коэффициента модуляции и кнопку «Save» (7) для сохранения массивов данных X (время t) и Y (напряжение U) сигнала на выходе модулятора в .txt-файл.

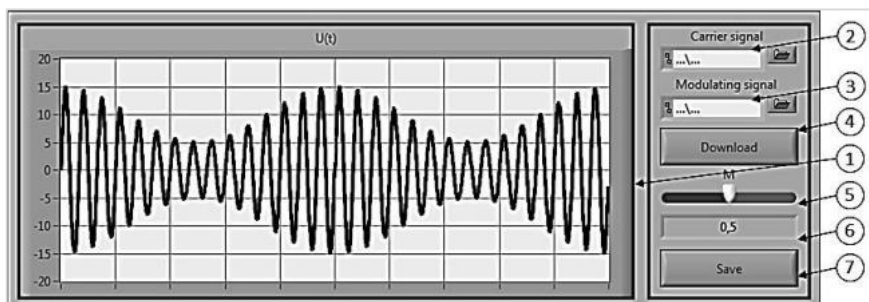


Рис. 3. Лицевая панель ВИ «Модулятор сигнала»

Генератор шума – ВИ, позволяющий добавлять к сигналу аддитивный гауссов шум и отображать результат во временной области. Лицевая панель ВИ «Генератор шума» представлена на рис. 4 и содержит графический индикатор «U(t)» (1) для отображения сигнала во

временной области (осциллограммы), диалоговое окно выбора пути к .txt-файлу (2), кнопку «Download» (3) для загрузки массивов данных X (время t) и Y (напряжение U) сигнала из .txt-файлов, слайдер «Mean square deviation» (4) установки СКО [0,1,...10], индикатор (5) отображения установленного значения СКО и кнопку «Save» (6) для сохранения массивов данных X (время t) и Y (напряжение U) сигнала на выходе генератора шума в .txt-файл.

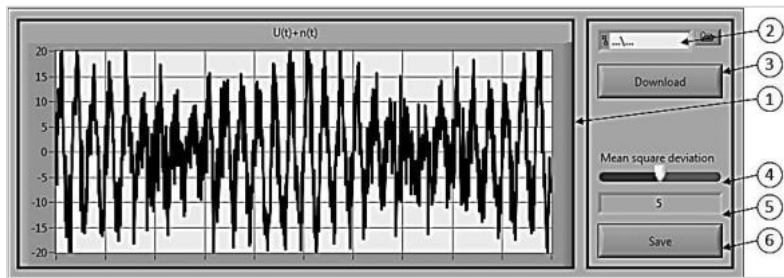


Рис. 4. Лицевая панель ВИ «Генератор шума»

Цифровой фильтр одномерных сигналов – ВИ, позволяющий производить частотную фильтрацию и отображать результат во временной и частотной областях. Лицевая панель ВИ «Цифровой фильтр одномерных сигналов» представлена на рис. 5 и содержит графический индикатор «U(t)+n(t)» (1) для отображения сигнала во временной области (осциллограммы), диалоговое окно выбора пути к .txt-файлу (3), кнопку «Download» (2) для загрузки массивов данных X (время t) и Y (напряжение U) сигнала из .txt-файла, графический индикатор «S(f)» (8) для отображения сигнала в частотной области (амплитудного спектра), поворотные переключатели «F1» (4) и «F2» (5), изменяющие положение курсоров в графическом индикаторе (8) для изменения полосы пропускания фильтра, поворотный переключатель (6), управляющий режимами работы фильтра, окно «Data» (9) для вывода измерений (расстояние между курсорами по оси частот dF; положение курсора F1 по оси частот; положение курсора F2 по оси частот) и кнопку «Save» (10) для сохранения массивов данных X (время t) и Y (напряжение U) сигнала на выходе фильтра в .txt-файл.

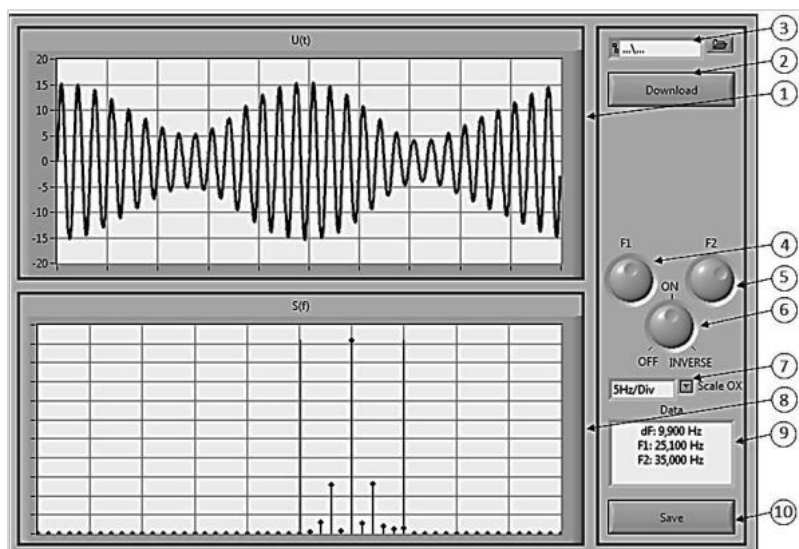


Рис. 5. Лицевая панель ВИ «Цифровой фильтр одномерных сигналов»

Осциллограф со встроенным спектроанализатором – ВИ, позволяющий отображать одномерный сигнал во временной и в частотной областях. Лицевая панель ВИ «Осциллограф со встроенным спектроанализатором» представлена на рис. 6 и содержит графический индикатор «U(t)» (1) для отображения сигнала во временной области (осциллограммы), диалоговое окно выбора пути к .txt-файлу (3), кнопку «Download» (2) для загрузки массивов данных X (время t) и Y (напряжение U) сигнала из .txt-файла, поворотные переключатели Cursors «T1» (4) и «T2» (5), изменяющие положение курсоров в графическом индикаторе (1) для измерения интервалов времени, окно «Data» (6) для вывода измерений (расстояние между курсорами по оси времени dT; 1/dT; положение курсора T1 по оси времени; положение курсора T2 по оси времени), графический индикатор «S(f)» (8) для отображения сигнала в частотной области (амплитудного спектра), поворотные переключатели Cursors2 «F1» (9) и «F2» (10), изменяющие положение курсоров в графическом индикаторе (8) для измерения интервалов частот, окно «Data2» (11) для вывода измерений (расстояние между курсорами по оси частот dF; положение курсора F1 по оси частот; положение курсора F2 по оси частот).

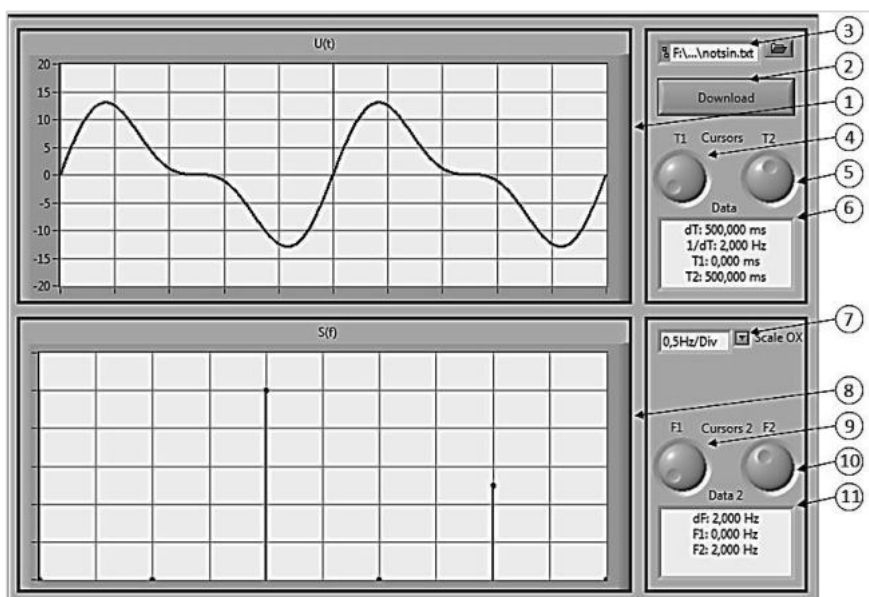


Рис. 6. Лицевая панель ВИ «Осциллограф со встроенным спектроанализатором»

Генератор шума двумерных сигналов – ВИ, позволяющий добавлять к двумерному сигналу (изображению) аддитивный периодический шум и отображать результат в пространственной области. Лицевая панель ВИ «Генератор шума двумерных сигналов» представлена на рис. 7 и содержит графический индикатор «P(n,m)+N(n,m)» (1) для отображения сигнала в пространственной области (изображения), диалоговое окно выбора пути к .bmp-файлу (2), кнопку «Download» (3) для загрузки данных сигнала из .bmp-файла, поворотные переключатели для управления параметрами периодического шума (частота «Frequency m» (4); частота «Frequency n» (5); амплитуда «Amplitude» (6); смещение «Offset» (7)) и кнопку «Save» (8) для сохранения данных сигнала на выходе генератора шума в .bmp-файл.

Цифровой фильтр двумерных сигналов – ВИ, позволяющий производить частотную фильтрацию изображений и отображать результат в пространственной и частотной областях. Лицевая панель ВИ «Цифровой фильтр двумерных сигналов» представлена на рис. 8 и содержит графический индикатор «P(n,m)» (1) для отображения сигнала в пространственной обла-

сти (изображения), диалоговое окно выбора пути к .bmp-файлу (2), кнопку «Download» (3) для загрузки данных сигнала из .bmp-файла, графический индикатор «S(k,l)» (7) для отображения сигнала в частотной области (амплитудного спектра), поворотные переключатели «Width» (4) и «Height» (5), изменяющие положение курсоров в графическом индикаторе (7) для изменения полосы пропускания фильтра, поворотный переключатель (6), управляющий режимами работы фильтра, окно «Data» (8) для вывода измерений (размер изображения $n \times m$; положение курсора Width по оси частот; положение курсора Height по оси частот) и кнопку «Save» (9) для сохранения массивов данных сигнала на выходе фильтра в .bmp-файл.

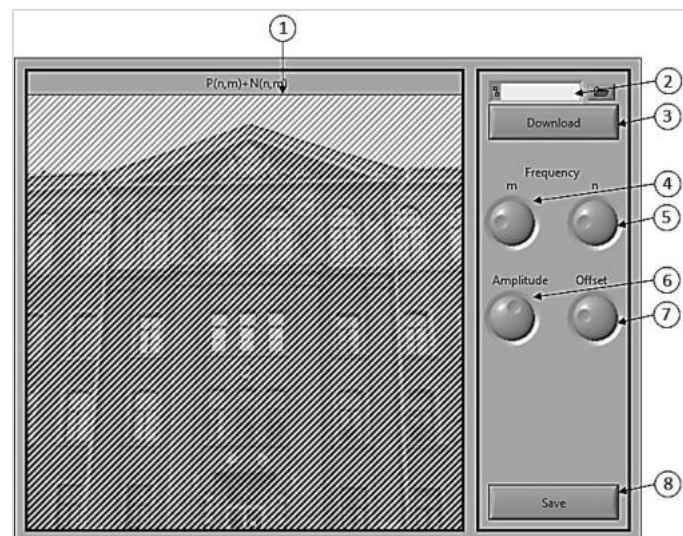


Рис. 7. Лицевая панель ВИ «Генератор шума двумерных сигналов»

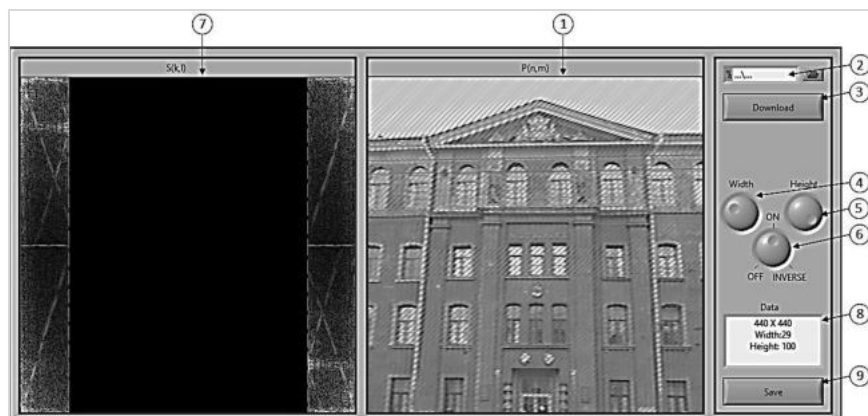


Рис. 8. Лицевая панель ВИ «Цифровой фильтр двумерных сигналов»

Каждый ВИ комплекса представляет из себя функционально независимую компьютерную программу, имитирующую работу реального прибора. В отличие от аналогичных виртуальных имитаторов лабораторных установок, которые как правило не являются универсальными, т.е. рассчитаны на моделирование достаточно узкого круга явлений в рамках конкретного исследования, данный комплекс представляет из себя коллекцию инструментов, подоб-

ных набору отдельных измерительных приборов в арсенале инженера, которые можно использовать в различных сочетаниях в соответствии с поставленной задачей. Предположим перед обучающимися поставлена задача исследования фильтрации принятого амплитудно-модулированного сигнала. Данная задача может быть решена с применением данного комплекса для имитации реальных приборов и объекта исследования (сигнала). Пример использования комплекса ВИ для решения поставленной задачи представлен на рисунке 9 и предполагает выполнение следующих пунктов:

1. Генерация несущего и модулирующего сигналов с помощью ВИ «Функциональный генератор»;
2. Формирование амплитудно-модулированного сигнала с помощью ВИ «Модулятор»;
3. Имитация смеси сигнала и шума с помощью ВИ «Генератор шума»;
4. Фильтрация амплитудно-модулированного сигнала с помощью ВИ «Цифровой фильтр одномерных сигналов».

Взаимодействие между ВИ организовано с помощью обмена массивами данных, формируемых на их выходах сигналов, записанных .txt-файл. Данная форма обмена данными обеспечивает работу с сигналами, которые могут быть получены и из иных источников.

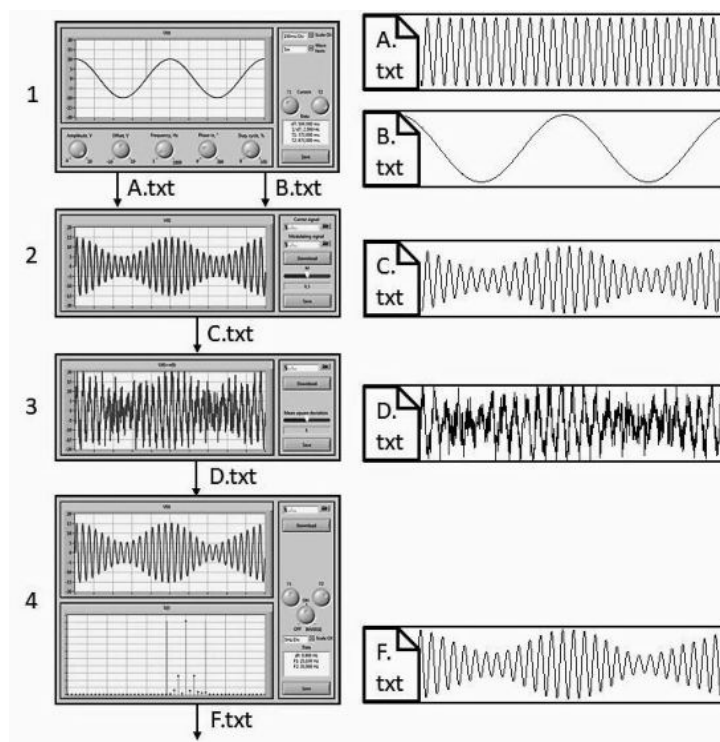


Рис. 9. Пример использования комплекса ВИ

На основании разработанного комплекса ВИ подготовлено к изданию изложение, оформленное в виде лабораторного практикума, состоящего из 8 одноимённых лабораторных работ. Каждая лабораторная работа посвящена созданию отдельного ВИ и содержит краткие сведения из теории обработки цифровых сигналов, инструкцию по сборке ВИ и задания. Данный лабораторный практикум может использоваться как самостоятельное задание, предназначенное для знакомства обучающихся с LabVIEW и получения навыков создания виртуальных из-

мерительных средств, так и как составная часть исследовательской работы, в которой реальные приборы (или некоторые из них) заменяются виртуальными.

Данный комплекс разрабатывался как обоснованное решение проблемы проведения лабораторных работ по дисциплине «Метрология и радиоизмерения» и способствовал выполнению учебного плана в полном объеме. Накопленный материал может быть успешно использован в дальнейшем, поскольку обладает рядом преимуществ:

- возможность организации проведения лабораторных работ в случае вынужденного перевода образовательного процесса в дистанционный режим;
- использование в качестве материала для предварительной самоподготовки обучающихся к выполнению работ на реальном лабораторном стенде или как дополнение к ним;
- использование для отработки обучающимися пропущенных лабораторных занятий;
- открытый код позволяет модифицировать ВИ, внося пользовательские изменения;
- модульность комплекса и его состав позволяют применять его элементы для проведения лабораторных работ по другим дисциплинам в рамках тем, связанных с обработкой цифровых сигналов;
- модульность комплекса позволяет расширять набор инструментов путём создания новых, без изменения имеющихся;
- модульность комплекса позволяет использовать его элементы как дополнительный материал в рамках поставленной перед обучающимися задачи;
- модульность комплекса позволяет использовать его элементы для полной или частичной замены реальных приборов при проведении исследований;
- элементы комплекса могут быть использованы преподавателями в качестве объяснительно-иллюстративных материалов, позволяющих визуализировать в интерактивном режиме влияние параметров на объект исследования;
- в отличие от реальных лабораторных стендов и измерительных приборов, ВИ не устаревают и не нуждаются в обслуживании;

К недостаткам можно отнести наличие требуемой аппаратной части (персонального компьютера) и программной части (LabVIEW).

Элементы данного комплекса в настоящее время успешно интегрируются в учебный процесс в рамках дисциплины «Метрология и радиоизмерения» как дополнение к работам, выполняемым на лабораторном стенде в очном режиме. Статья подготовлена в рамках изучения дисциплины «Инновационные образовательные технологии в высшей школе».

В заключение хотелось бы отметить, что комплекс ВИ и его внедрение в учебный процесс должен быть дифференцированным и учитывать специфику той или иной дисциплины, чтобы не допустить формирования у обучающихся однобокого опыта работы только с идеализированными моделями.

Библиографический список

1. Измерения в радиоэлектронике: методические указания к лабораторным работам / Сост.: А. А. Сорокин [и др.]. СПб: БГТУ «Воениех», 2009. 63 с.
2. Демкин В. П., Можяева Г. В. Технологии дистанционного обучения. Томск: Изд-во Том. Ун-та, 2003. 106 с.
3. Латыпова В. А. Методики проведения и проверки лабораторных работ при смешанном и дистанционном автоматизированном обучении // Инженерный вестник Дона. 2015. №3. URL: ivdon.ru/tu/magazine/archive/n3y2015/3129 (дата обращения 2021-02-26).

**РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ДИСТАНЦИОННОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ
ПРИГОДНОСТИ ВЫБРАННОЙ С ВОЗДУХА ПЛОЩАДКИ
ДЛЯ ПОСАДКИ ВЕРТОЛЁТА**

Д. М. Ярыгин

Балтийский государственный технический университет «Военмех» им. Д. Ф. Устинова

Способность вертолётa производить посадку на неподготовленную площадку высоко ценится военными и спасателями, поскольку позволяет производить оперативную высадку, эвакуацию пострадавших, доставку боеприпасов и грузов. На рис. 1 представлено распределение причин авиационных происшествий (АП) по данным Международной организации гражданской авиации (ИКАО) за 2016 год в мире [1].

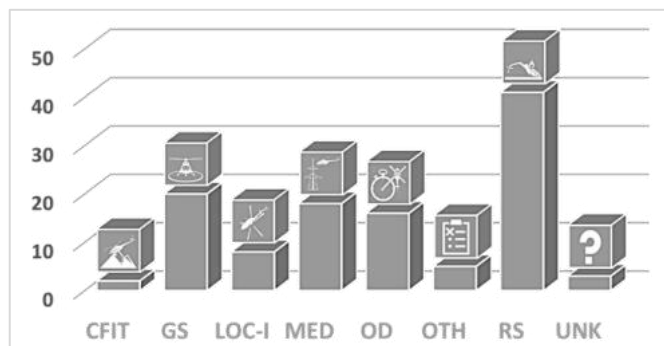


Рис. 1. Распределение причин АП в мире за 2016 год

Рассматриваются следующие причины:

- CFIT (Controlled Flight into Terrain) – столкновение исправного воздушного судна с землёй;
- GS (Ground Safety) – авиационные происшествия в следствии неправильного предпо-
лётного обслуживания, буксировки и т.п. причины;
- LOC-I (Loss of Control in-Flight) – авиационные происшествия и инциденты, связанные с потерей управления в полёте;
- MED (Injuries to and/or Incapacitation of Persons) – авиационные происшествия, связанные со вступлением летательного аппарата (ЛА) в прямой контакт с чем-то (турбулентность, птицы и т.д.);
- OD (Operational Damage) – эксплуатационные повреждения;
- OTH (Other) – прочее;
- RS (Runway Safety) – операции при взлёте и посадке;
- UNK (Unknown) – неизвестно.

Статистика показывает, что посадка даже на заранее подготовленную и проинспектированную площадку [2] является наиболее аварийным элементом пилотирования ЛА, требующим от экипажа высокой подготовки. В соответствии с приоритетным направлением научно-технологического развития в части обеспечения связанности территории Российской Федерации развитию Арктического региона и Северного морского пути уделяется всё большее внимание. Роль инструмента, обеспечивающего организацию транспортного сообщения между объектами и населёнными пунктами в данном регионе, отводится именно вертолётам. По данным межрегиональной общественной организации пилотов и граждан-владельцев воз-

душных судов инфраструктура подготовленных вертодромов [3], отвечающих требованиям ФАП-262 на территории России хорошо развита в районе крупных населённых пунктов и практически отсутствует в отдалённых и труднодоступных районах страны, в частности в Арктическом регионе. В свете этого проблема обеспечения безопасности при выполнении посадки на необорудованные посадочные площадки, выбираемые с воздуха, является определяющим фактором в активном использовании вертолётов.

Для суши Арктики характерны ледяные и снежные покровы, которые держатся почти весь год. В соответствии с Федеральными авиационными правилами безопасная посадка вертолёта возможна при исключении проваливания под снег и опрокидывании при посадке [4]. К этому необходимо добавить, требования к неподготовленной площадке с учётом характеристик конкретного вертолёта. Например, для Ми-38 должны быть удовлетворены следующие требования:

- площадка, ограниченная контуром в виде окружности 20 м;
- площадка не должна содержать критических неровностей размерами 1х1 м и глубиной/высотой не более 0,2 м;
- толщина льда должна быть не менее 0,7 м при его наличии;
- толщина снега должна быть не более 0,5 м при его наличии;
- наклон площадки не должен превышать 5°.

Оценка одних требований (например, к толщине снега/льда), путём визуального обзора пилотом подстилающей поверхности, находящейся под вертолётom, попросту невозможна, оценка других (геометрических параметров) в реальных условиях существенно затрудняется [6]:

- конструктивными особенностями вертолёта, ограничивающими угол обзора;
- неблагоприятными метеорологическими условиями;
- слабой освещённостью;
- вихрем твёрдых частиц, поднимаемым винтом вертолёта.

Штатные технические средства вертолёта, также не могут обеспечить экипаж всей требуемой при совершении посадки информацией. Так, например, радиовысотомер А-053 [7], устанавливаемый на вертолётах Ми-38 при полёте на малых высотах до 50 м над толстым слоем снега (льда) [8] может измерять высоту с большой ошибкой, поскольку измерение высоты может происходить от нижней кромки снежного (ледового) покрова, а высота до верхней кромки снежного (ледового) покрова измеряется только при полётах над влажным или загрязнённым снегом, или льдом. Низкая осведомлённость пилота о состоянии выбранной с воздуха площадки вынуждает рисковать, прибегая к беспосадочному десантированию для её предварительной проверки [9]. Таким образом, существует острая потребность в технических средствах, направленных на дополнительное информационное обеспечение экипажа о каabinной обстановке, а именно для дистанционного получения информации (с воздуха) о выбранной поверхности для посадки.

В БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д. Ф. Устинова имеется научно-технический задел в части создания подобных средств, накопленный в рамках выполнения НИОКТР «Разработка и создание всепогодного и всесезонного комплекса для обеспечения поисково-спасательных операций, проводимых с помощью летательных аппаратов в условиях Арктики». В состав комплекса входит радиолокационная станция зондирования подстилающей поверхности, предназначенная для измерения высоты полёта и толщины снежно-ледовых покровов. Однако представление результатов измерений экипажу в лоб в виде отображения на экране индикатора трёх параметров: высота, толщина снега, толщина льда – малоинформативно и анализ данной информации для оценки соответствия подстилающей поверхности ранее указанным требованиям возлагается на экипаж. Анализ руководства по лётной эксплуатации вертолёта Ми-38 и особенностей выполнения манёвров при посадке на неподготовленную площадку выявил возможность повышения информативности данных, получаемых от радиолокационной станции зондирования подстилающей поверхности. Путём перемещения вертолёта вдоль поверхности на абсолютной высоте 10 м возможно сканирование места посадки для формирования

цифровой модели рельефа (рис. 2) на основе данных о высоте, толщине снега, толщине льда в каждой точке сканирования и данных о координатах вертолѐта в пространстве, поступающих с бортового радиоэлектронного оборудования.

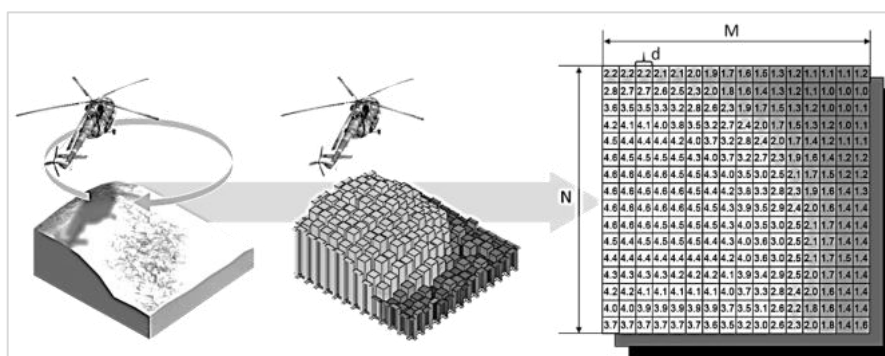


Рис. 2. Получение цифровой модели рельефа

Полученная таким образом цифровая модель рельефа, представляет комплект из трёх матриц, содержащих данные о дальностях в каждой точке сканирования до трёх уровней подстилающей поверхности:

- матрица Level 1 (поверхностная граница воздух-снег);
- матрица Level 2 (подповерхностная граница снег-лѐд);
- матрица Level 3 (подповерхностная граница лѐд-вода).

С учётом вышеизложенного был разработан алгоритм дистанционного определения пригодности выбранной с воздуха площадки для посадки вертолѐта, который состоит из следующих пунктов:

1. формирование матриц уровней;
2. ввод параметров (α – критическое значение угла наклона поверхности, D – диаметр площадки, ограниченной контуром в виде окружности, d – шаг дискретизации цифровой модели рельефа, S – критическая толщина снега, I – критическая толщина льда);
3. обнаружение и определение координат дефектов на поверхностном уровне Level 1, то есть таких совокупностей элементов матрицы, которые соответствуют неровностям рельефа, ширина и высота которых превышает критические значения;
4. определение дефектов толщины снежно-ледового покрова, то есть таких элементов матриц, в которых разность значений (Level 1-Level 2) – толщина снега превышает критическое значение S или разность (Level 2-Level 3) – толщина льда меньше критического значения I ;
5. последовательное сканирование уровня Level 1 окном интереса в виде окружности с диаметром D с целью поиска таких его положений, при которых в пределах окружности D отсутствуют обнаруженные на прошлых этапах дефекты;
6. для каждого окна интереса, занимающего разрешѐнное положение, рассчитывается угол наклона плоскости, ограниченной контуром окна интереса (окружностью) и в случае, если угол не превышает заданное критическое значение α , то принимается решение, что данная плоскость соответствует площадке приемлемой для посадки вертолѐта.

Разработанный алгоритм был реализован в виде ПО, выполненного на языке программирования C++, с использованием спецификации OpenGL, в среде разработки QtCreator 4.12.4. Представление информации пользователю происходит с помощью визуализации трёхмерной модели рельефа подстилающей поверхности, на которой зелёным цветом маркируются площадки пригодные для посадки. Для тестирования программы были разработаны комплекты моделей рельефа, один из которых с пояснениями особенностей рельефа представлен на рис. 3а. Результаты обработки ПО данного комплекта моделей рельефа представлен на рис. 3 б.

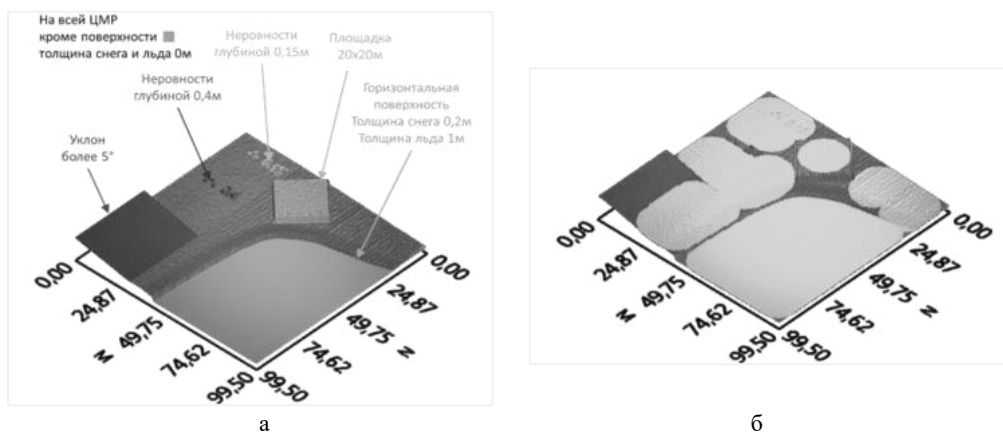


Рис. 3. Тестовая модель рельефа (а) и визуализация работы ПО (б)

Предложенный алгоритм позволяет автоматизировать процесс оценки соответствия выбранной с воздуха площадки требованиям для выполнения безопасной посадки вертолёта и повысить информативность радиолокационной станции зондирования подстилающей поверхности.

В дальнейшем планируется провести тестирование ПО на основе реальных измерений рельефа. Статья подготовлена на основе материала, полученного по итогам реализации проекта «Рельеф», проводимого в БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф.Устинова в рамках конкурса научно-исследовательских работ «Инженерный десант».

Библиографический список

1. ICAO. Safety report. – Электрон. текстовые дан. – 2013. URL: https://www.icao.int/safety/Documents/ICAO_SR_2017_18072017.pdf (дата обращения: 2021-02-26).
2. ИКАО Приложение 14 т.2 к Конвенции о международной гражданской авиации. Вертодромы. База аэродромов АОПА Россия URL: maps.aopa.ru (дата обращения: 2021-02-26).
3. ФАП-262, требования, предъявляемые к аэродромам, предназначенным для взлета, посадки, руления и стоянки гражданских воздушных судов.
4. Сажаем вертолет вслепую: обзор технологий синтетического зрения. URL: <https://geektimes.ru/post/280278/>. (дата обращения: 2021-02-26).
5. Особенности взлетов и посадок на пыльных, песчаных или заснеженных площадках. URL: <http://www.svvaul.ru/component/k2/600-osobennosti-vzletov-i-posadok-napylnykh-peschanykh-ili-zasnezhennykh-ploshchadkakh/>. (дата обращения: 2021-02-26).
6. Малогабаритный авиационный радиовысотомер А-053. URL: http://www.upkb.ru/production/68/malogaabaritnyu_aviatsionnyu_radiovysotomer_a-053. (дата обращения: 2021-02-26).
7. Самойлов Ю. Б., Хизев Г. Ю. Радиоэлектронное оборудование вертолетов. Радиоэлектронное оборудование вертолета Ми-8МТ: учеб. пособие. Сызрань: Филиал ВУНЦ ВВС «ВВА» (г. Сызрань). 2017:114.
8. Меры безопасности при применении вертолетов. URL: https://studopedia.ru/10_104903_meri-bezopasnosti-pri-primenenii-vertoletov.html (дата обращения: 2021-02-26).
9. V. Garmash, A. Zhdanov, D. Korobochkin, Y. Petrov and D. Yarigin, «Calculation of precipitation intensity using processing the sequence of video frames» // ITM Web of Conferences, 2019. Vol. 30, 12018 1-4 WoS.

ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ СОВМЕСТИМОСТЬ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ

В. И. Гущина

Балтийский государственный технический университет «Военмех» им. Д. Ф. Устинова

Под электромагнитной совместимостью радиоэлектронных средств (РЭС) понимают способность РЭС одновременно функционировать в реальных условиях эксплуатации с требуемым качеством при воздействии на них непреднамеренных радиопомех не создавая недопустимых радиопомех другим электронным средствам.

Электромагнитная обстановка (ЭМО) – электромагнитная характеристика данной местности в указанном временном или частотном диапазоне [1].

Техническим средством принято называть любое устройство, основанное на работе с использованием электромагнитных явлений [2]. Такие устройства имеют два основных типа электромагнитных явлений: полезные и помехи. Первые обуславливают работу ТС, являются основой для его функционирования. А к электромагнитным помехам относят электромагнитные процессы, которые ухудшают или могут ухудшить качество функционирования технических средств (радиоэлектронных средств, электрической сети, приборов и устройств потребителей).

Первой задачей обеспечения ЭМС является детектирование, детерминирование, ликвидация или частичная ликвидация влияния электромагнитной помехи. Второй задачей необходимо отметить принятие совокупности мер по обеспечению электромагнитной устойчивости ТС. В этом случае акцентируется защита самого ТС от влияний ЭМП.

Проблема ЭМС стала набирать существенную силу в середине двадцатого века, в период бурного развития радиоэлектроники и появления ряда радиослужб.

Источники помех бывают природного и искусственного происхождения. Наиболее мощными природными источниками помех являются разряды молний, генерирующие значительные токи в системе молниезащиты, и электрические поля высокой напряженности. Источниками искусственного происхождения могут быть самые разнообразные устройства и системы, начиная от мощных радиопередающих устройств и заканчивая микропроцессором.

В связи с освоением более высоких рабочих диапазонов частот, увеличилось и влияние ТС. В истории исследования данного вопроса можно выделить несколько этапов использования радиочастот [1]:

1) Этап использования ТС, работающих в НЧ и СЧ диапазонах частот, не оказывающих существенного влияния друг на друга и не проявляя проблему ЭМС в международном масштабе;

2) Этап использования ТС, которые работают в области ВЧ и использование которых обусловило необходимость международной кооперации для распределения полос частот для обеспечения электромагнитной совместимости. Верхний предел в ~60 МГц был установлен в конце 1927 года;

3) Этап использования радиоэлектронных средств, включающих работу на частотах до 401 ГГц.

Причины появления проблемы ЭМС. Можно указать несколько факторов, которые приводят к появлению проблемы ЭМС РЭС.

1. Основной причиной, порождающей проблему электромагнитной совместимости радиоэлектронных средств, является ограниченность освоенного радиочастотного спектра при непрерывном росте числа его потребителей.

Если рассмотреть, например, диапазон высоких частот (3...30 МГц), то он занимает полосу 27 МГц. При ширине канала 3 кГц (например, при однополосной амплитудной модуляции) в нем можно разместить 9000 каналов. Число желающих пользоваться этим диапазоном (и

действительно работающих в нем) неизмеримо больше числа каналов, которые можно в нем выделить, и превышает миллион пользователей. Это означает, что многие РЭС в этом диапазоне частот работают на одинаковых частотах. Такая возможность существует, если между средствами, работающими на одной и той же частоте, уровень помех не приводит к недопустимому снижению качества работы РЭС.

2. Наличие у радиоэлектронных средств параметров ЭМС. Параметры, характеризующие радиоэлектронное средство, можно разбить на две группы. К первой группе относятся параметры, определяющие функциональное назначение РЭС, ко второй – параметры ЭМС. Параметрами, определяющими функциональное назначение РЭС, являются параметры, изменение которых влияет на качество передачи и/или приема информации в радиоканале при отсутствии непреднамеренных помех. Эти параметры определяют энергетические потенциалы радиопередающих устройств на выделенных им для работы радиоканалах, а также способность радиоприемных устройств качественно принимать полезный сигнал при отсутствии непреднамеренных помех за пределами отведенного для работы РЭС частотного канала. Параметрами ЭМС являются параметры, значение которых влияет на качество совместной работы совокупности радиоэлектронных средств при наличии непреднамеренных помех за пределами радиоканала, отведенного для работы РЭС.

Например, функциональными параметрами радиопередатчика являются мощность излучения передатчика на присвоенной ему частоте, ширина полосы частот основного излучения передатчика и др., а параметрами ЭМС – уровни излучений на гармониках, уровни шумовых излучений и др. Излучения на гармониках или шумовые излучения передатчика находятся за пределами радиоканала, который отведен для работы радиопередатчика. Однако, попадая в основной канал приема РЭС, содержащих радиоприемные устройства, которые работают на соответствующих частотах, эти излучения могут снизить качество приема полезных сигналов. Для радиоприемного устройства (РПУ) параметрами, определяющими качество его работы в соответствии с функциональным назначением, являются чувствительность, избирательность, динамический диапазон по основному каналу приема и др., в то время как параметрами ЭМС выступают такие параметры, как восприимчивость РПУ по побочным каналам приема (ПКП), динамические диапазоны по нелинейным эффектам и др., определяющие качество работы РПУ при наличии непреднамеренных помех от других РЭС, излучения которых лежат за пределами полосы пропускания приемника. Для антенных систем функциональными параметрами являются, например, ширина главного лепестка диаграммы направленности антенны в горизонтальной и вертикальной плоскостях и коэффициент усиления антенны, а параметрами ЭМС – уровни боковых и задних лепестков относительно главного.

Параметры ЭМС радиоприемных и радиопередающих устройств нормируют. Нормативные требования к параметрам ЭМС РЭС устанавливаются, исходя из технических и конструкторско-технологических возможностей получить желаемые значения параметров, что определяется развитием радиотехники и электроники на момент разработки норм, а также исходя из предполагаемых условий эксплуатации оборудования, для которого нормируются параметры ЭМС. Нормы, с одной стороны, устанавливают требования к параметрам мешающих излучений, а с другой стороны, требования к минимальной помехоустойчивости РЭС в заданных условиях эксплуатации. В связи с этим нормативные требования к параметрам ЭМС для гражданской и военной радиоаппаратуры могут существенно различаться. Выполнение норм, установленных на параметры ЭМС, облегчает решение проблемы обеспечения ЭМС, но не устраняет саму проблему

3. Влияние окружения на уровни и спектральный состав непреднамеренных помех. Отражения от окружающих объектов увеличивают или уменьшают уровень помехи. Нелинейности окружения изменяют спектральный состав помех.

4. Наличие внешнего фона. Существенный вклад в формирование электромагнитной обстановки вносят излучения со стороны различного рода энергетических и промышленных установок, которые не предназначены для излучения электромагнитной энергии, но в силу

специфики своей работы являются источниками непреднамеренных помех. Это так называемые индустриальные помехи. Наличие индустриальных помех часто не позволяет полностью реализовать потенциальные возможности радиоаппаратуры, в частности чувствительность РПУ, и усложняет совместную работу РЭС. Влияние индустриальных помех особенно заметно в крупных промышленных городах, на больших промышленных предприятиях и на подвижных объектах, имеющих крупное энергетическое оборудование и радиоэлектронные системы, таких, как самолеты и корабли.

Таким образом предлагаемые решения проблемы ЭМС РЭС в общем случае должны учитывать следующие факторы: ограничения на возможный частотно-территориальный разнос РЭС, наличие у радиоэлектронных средств параметров ЭМС, влияние окружающих объектов на электромагнитную обстановку в месте работы РЭС, наличие индустриальных помех и помех естественного происхождения. Отсутствие ЭМС означает либо некачественную работу РЭС, либо то, что данное РЭС в данной ЭМО работать не может вообще.

Обеспечение ЭМС

1. Частотно-территориальное планирование

Если при расчёте или измерении оказывается, что критериальная величина (напряжение помехи, соотношение «сигнал – помеха» или другие) не соответствует требованиям, тогда для обеспечения ЭМС требуется принять меры – организовать пространственный разнос источника и рецептора, организовать их частотный разнос, поставить вносящие ослабление помехи экраны и другие.

Для определения необходимой величины пространственного разноса при проектировании радиосистем получают критериальную величину в виде зависимости от расстояния, например, вида [3] накладывают условие ЭМС и определяют отсюда значение расстояния, на котором критерий ЭМС соблюдается.

$$L_{св.пр} [дБ] = 20 \lg \frac{4\pi f [МГц] \cdot 10^6 R [км] \cdot 10^3}{c} = 20 \lg \frac{40\pi}{3} + 20 \lg f [МГц] + 20 \lg R [км] = 30,441 + 20 \lg f [МГц] + 20 \lg R [км] \quad (1)$$

Для определения необходимой величины частотного разноса выполняют численно расчёт уровня помехи на входе определённого канала, накладывают критерий ЭМС и подбирают такой разнос, при котором требования ЭМС выполняются.

2. Экранирование [3]

Эффективность действия экрана теоретически обычно определяют по отношению к плоской волне при помощи экранного затухания:

$$S_э = 20 \lg \frac{E_1}{E_2}, \quad S_м = 20 \lg \frac{H_1}{H_2} \quad (2)$$

где E_1 и H_1 – напряжённости поля на внешней стороне экрана, E_2 и H_2 – напряжённости поля на внутренней стороне экрана или обратной ему величины – эффективности экранирования.

Эффективность экранирования проволочных антенн типа диполя плоским экраном толщины d может приближённо быть записана:

$$\mathcal{E}_{пл} = \begin{cases} 60\pi\sigma d, & d/\delta < 0,1 \\ \frac{\delta}{2\sqrt{2}} e^{d/\delta}, & d/\delta > 0,1 \end{cases} \quad (3)$$

где удельная проводимость материала δ приведена в таблице 1, а коэффициент A в выражении для глубины проникновения в вещество $\delta = A/\sqrt{f}$ – в таблице 2.

Таблица 1

Вещество	Удельная проводимость, См/м
Медь	$5,9 \cdot 10^7$
Алюминий	$3,6 \cdot 10^7$
Сталь	$1,0 \cdot 10^7$

Таблица 2

Вещество	$A, \text{м} \cdot \text{Гц}^{1/2}$
Медь	$6,6 \cdot 10^{-2}$
Алюминий	$8,4 \cdot 10^{-2}$
Сталь	$1,6 \cdot 10^{-2}$

Задачи расчёта экранов решаются приближённо, при этом для большинства экранов в выражении входят формулы (3) для плоского экрана.

Эффективность экранирования длинной симметричной линии цилиндрическим экраном радиуса R на длине волны λ определяется формулой:

$$S_d = 0,16 \frac{\lambda}{R} \mathcal{E}_{пл} \quad (4)$$

Эффективность экранирования рамки с током замкнутым экраном с эффективным радиусом R имеет вид:

$$\mathcal{E}_p = \mathcal{E}_0 + 4,2 \frac{R}{\lambda} \mathcal{E}_{пл} \quad (5)$$

где эффективность экранирования по постоянной составляющей

$$\mathcal{E}_0 = 1 + \frac{0,66\mu d}{R} \quad (6)$$

где, μ – относительная магнитная проницаемость материала. Для стали часто берут $\mu = 100$, хотя есть сплавы и с большим, и с меньшим значением. На высоких частотах \mathcal{E}_0 в (5) становится значительно меньше второго слагаемого.

Планирование помеховой обстановки на различных этапах разработки

1. Дизайн печатной платы

Здесь относятся правильное проектирование полигонов земли, линий передачи, фильтров. Для экранирования отдельных элементов или целых областей печатной платы применяются металлические экраны. Они состоят из двух частей. Одна часть – основание, фиксируется на печатной плате; вторая часть – крышка надевается сверху и фиксируется зажимами, защёлками или пайкой.

2. Соединение двух экранированных систем

Кабели и соединители должны быть экранированы и иметь электрический контакт по всей окружности разъема. Необходимо избегать соединения экрана кабеля с корпусом оборудования одним тонким проводником, так как он вносит паразитную индуктивность, следовательно, имеет высокое полное сопротивление на высоких частотах. Ввод внешних кабелей должен осуществляться через проходные фильтры, заключенные в отдельный экранированный корпус.

Таким образом, для создания эффективного экрана необходимо:

- Подобрать материал, его структуру и толщину в зависимости от составляющей электромагнитного поля, которую необходимо экранировать;
- По возможности исключить любые отверстия и щели и любые другие прерывания электрического контакта по размерам сравнимые с $1/20$ длиной волны;
- Для вентиляции и ввода кабелей использовать «запредельные волноводы»;
- Для ввода сигналов и питания использовать оптические линии связи и проходные фильтры
- Для обеспечения контакта по периметру сборных конструкций использовать проводящие прокладки или пружинные контакты;
- Контролировать коэффициент экранирования корпусов, проводя натурные измерения, когда это возможно.

Испытания технических средств на ЭМС

Обеспечение электромагнитной совместимости технических средств относится к одной из наиболее актуальных проблем электронной техники, связанной с непрерывным развитием

всех отраслей промышленности в современном мире. На сегодняшний день наиболее достоверным способом подтвердить способность технических средств одновременно функционировать в реальных условиях эксплуатации с требуемым качеством при воздействии на них непреднамеренных электромагнитных помех и не создавать недопустимых электромагнитных помех другим техническим средствам возможно только проведя натурные испытания. Можно выделить следующие виды испытаний:

– *Испытания на устойчивость к изменениям в системе электропитания.*

В сетях питания постоянного и переменного тока вследствие переключения нагрузок, аварий возникают провалы напряжения, вариации частоты и прочие нестабильности. Работоспособность ТС в условиях нестабильности электропитания возможно подтвердить только, проведя соответствующие испытания на электромагнитную совместимость.

– *Изменения уровня электромагнитных помех (помехоэмиссии).*

ТС в процессе функционирования создают вокруг себя переменные электромагнитные и (или) постоянные магнитные и электрические поля (помехи) в широком диапазоне частот. Помехи распространяются от ТС как по проводам, так и посредством излучения. Уровень этих полей (помех) не должен превышать установленных нормативными документами (ГОСТ, ОСТ, КТ) величин, поскольку при превышении нормативов возможна неустойчивая работа расположенных рядом ТС. На сегодняшний день самым достоверным методом определения помехоэмиссии ТС является непосредственное измерение с помощью набора измерительных антенн, эквивалента сети и измерительного приемника. Для исключения влияния внешних помех и неоднородностей окружающего пространства на результаты измерений все работы должны проходить в полубезэховой экранированной камере или на открытой аттестованной измерительной площадке.

– *Испытания на восприимчивость к кондуктивным помехам.*

Различные виды кондуктивных помех техногенного и природного характера, такие как молниевые разряды, переключения реле, и другие факторы могут отрицательно сказаться на функционировании аппаратуры, в случае если она не защищена соответствующим образом. Подтвердить работоспособность аппаратуры при воздействии кондуктивных помех возможно только проведя полноценные испытания на ЭМС.

– *Испытания на устойчивость к электростатическим разрядам.*

Электростатические разряды характеризуются малыми токами и большими напряжениями, и несмотря на свою сравнительно малую энергетику способны довольно значительно влиять на функционирование ТС и даже вывести их из строя. Поэтому испытание на устойчивость к электростатическим разрядам является одним из обязательных. Различают испытания прямым разрядом (контактным и воздушным) и непрямым разрядом (электромагнитным полем, возникающим при разряде в пластину связи).

Библиографический список

1. *Стукалов С. Б.* Электромагнитная совместимость радиоэлектронных систем: учебное пособие. Воронеж: ООО «МИР», 2019. 64с.
2. *Вагин Г. Я., Лоскутов А. Б., Севостьянов А. А.* Электромагнитная совместимость в электроэнергетике. М.:Академия, 2010. 224 с.
3. *Артёмова Т. К., Гвоздарёв А. С., Фомичёв Н. И.* Электромагнитная совместимость: задачник. Ярославль: Яросл. гос. ун-т им. П. Г. Демидова – ЯрГУ, 2012. 56 с.

УДК 621.865.8

ЗАДАЮЩАЯ И ИСПОЛНИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМЫ КОПИРУЮЩЕГО МАНИПУЛЯТОРА

Е. Ю. Антонова, Д. А. Невольников, Н. С. Слободзян

Балтийский государственный технический университет «Военмех» им. Д. Ф. Устинова

В промышленности и различных областях народного хозяйства нередко приходится работать в так называемых экстремальных условиях, при которых человек подвергается вредным для здоровья температурным, радиационным, взрывоопасным, пожароопасным воздействиям или, когда вообще становится невозможной деятельность человека, а специальная защита существенно снижает эффективность его действий или ограничивает их. Кроме того, существует ряд задач, в которых тандем человека и робота даст достаточно высокие производительность и качество выполнения операции.

При таких условиях могут быть применены обычные или специальные роботы, действующие автоматически по программе. Однако они потребуют переналадки на различные операции и, не все операции, которые выполняются в экстремальных условиях, легко поддаются роботизации. В обоих этих случаях необходимо вмешательство человека-оператора, причем оно должно осуществляться дистанционно от пульта оператора, установленного в безопасном месте.

Таким образом, возникает потребность в робототехнических системах - дистанционно управляемых роботах и манипуляторах.

Одной из таких систем является система копирующего управления («Master-Slave», с англ. «Хозяин-Слуга»). Она отличается тем, что оператор работает с задающим механизмом кинематически полностью подобным рабочему манипулятору. При этом каждый шарнир задающего механизма связан по принципу следящей системы с соответствующим шарниром рабочего манипулятора. В результате, если оператор будет перемещать конец задающего механизма, точно такие же перемещения получают все звенья рабочего манипулятора одновременно (а не поочередно, как в командном способе). Подобные системы позволяют быстро и эффективно выполнять различные задачи в атомной и нефтегазовой промышленности, в космосе и в микрохирургии. Однако для получения высококачественного управления требуется грамотное проектирование системы управления, воспроизводящей движение оператора с высокой точностью и с минимальной разницей во времени. В статье представлены обзор на существующие копирующие манипуляторы и принятые решения по проектированию манипулятора на отечественных комплексах для работы в горячих камерах атомной и химической промышленности [1].

На сегодняшний день (2020-2021г.) на российском рынке представлено небольшое (относительно других областей робототехники) количество манипуляторов для работы в горячих камерах. Большинство предложенных моделей имеют ручное или комбинированное электро-механическое управление. Среднее количество степеней свободы – 6. Максимальный вес груза варьируется в зависимости от размеров, типа захвата и составляет от 5 до 60 кг. Иногда такие манипуляторы используются парно, то есть оператор имеет по одному манипулятору на каждую руку. Такое решение позволяет производить сложные операции с объектами горячих камер проще и безопаснее. Но из-за дороговизны и массивности конструкции чаще используется один манипулятор и одно задающее устройство под одну или обе руки оператора.

Преобладающее число моделей копирующих манипуляторов состоят из 2-х основных частей – задающее устройство, которое находится под контролем оператора, и исполнительное устройство, которое контактирует с объектами горячей камеры [2]. Кроме габаритов и области применения основными отличиями между манипуляторами разных компаний являются

конструкция исполнительного и задающего устройства, тип управления и передачи момента, а также показатели точности и надежности. Последние из разработанных копирующих манипуляторов для работы в горячих камерах не имеют механической связи между ведущей и ведомой рукой. Сигналы управления от задающего устройства передаются через электрические провода на модуль приводов, которые через редуктора приводят в движение звенья ведомой руки.

Согласно ГОСТ-Р 60.0.7.1-2016 «РОБОТЫ И РОБОТОТЕХНИЧЕСКИЕ УСТРОЙСТВА. Методы программирования и взаимодействия с оператором» копирующее управление осуществляется при помощи следующих задающих устройств [3]:

- кинематически подобных задающих манипуляторов;
- джойстиков;
- кнопок/тумблеров;
- устройств ввода информации в компьютер;
- педалей;
- силомоментной обратной связи.

Поскольку изначально манипулятор проектируется таким образом, чтобы повторять движения оператора, то и задающее, и исполнительное устройство обычно удобнее всего делать кинематическим подобием руки. Как правило, такие манипуляторы являются семиосевыми («7-DOF-manipulator», кинематическая схема представлена на рис.1), хотя, нередко встречаются манипуляторы и с меньшим числом осей.

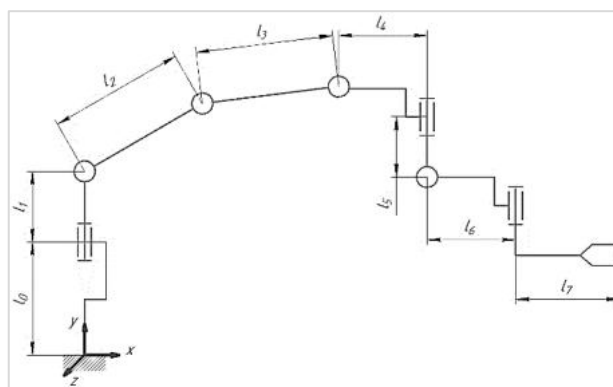


Рис. 1. Кинематическая схема семиосевого манипулятора

Задающие устройства по типу экзоскелета появились достаточно давно и широко представлены на рынке, например, TelesistenceV TelesarV, ToyotaT-HR3, роботы компании Kuka, Festo, российские проекты ЗУКТ-3, FEDORN и т.д. Основным недостатком таких устройств является тяжеловесность. Легкое устройство вроде перчатки не сможет обеспечить необходимую силомоментную обратную связь, т.к. потребуются устанавливать приводы по всем сочленениям руки человека, что автоматически сделает изделие тяжелым для оператора. Для промышленности силомоментная обратная связь является важным свойством системы при управлении, поскольку наблюдение обычно ведется через стекло камеры и производить манипуляции с объектом проще, ощущая его в руке.

Конструкции кинематически подобных манипуляторов первоначально крепились к потолку и делались в размер с исполнительным устройством (ИУ) системы, как, например, манипулятор МЭМ-10, представленный на рис.2. Такие манипуляторы проектировались на связке «сельсин-датчик», а в конструкции содержали коническую передачу. Сейчас переходят к более компактным решениям, устанавливая небольшие задающие устройства либо возле кресла оператора (задающее устройство Terman TAO на рис.3), либо на столе, совмещая с пультом управления (рис. 4, продукция компании Kraft).

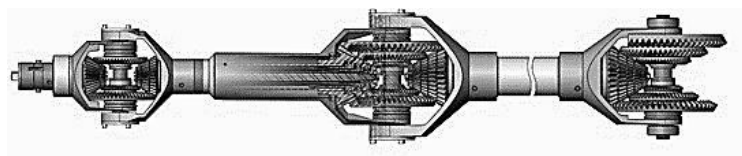


Рис. 2. Манипулятор МЭМ-10



Рис. 3. Задающее устройство Terman TAO



Рис. 4. Задающее устройство Raptor

При проектировании задающего устройства за основу были взяты вышеуказанные аналоги. Кинематическая схема – семиосевая. Изделие сконструировано так, чтобы оператор мог выполнять работу сидя, что избавляет человека от лишней нагрузки при работе. Управляющая электроника будет размещена в узлах манипулятора для повышения компактности и маневренности изделия при работе. Это позволит избежать вывода части проводов наружу, мешающих оператору.

Касательно конструкции исполнительного устройства проектирование также проводится на основе существующих аналогов. Устаревшие модели, наподобие манипуляторов серии GM 1000-1300 (см. рис.5.), имеют ряд недостатков, которые были устранены в новых, более технологичных и эффективных моделях.



Рис. 5. Манипулятор GM 1000

У моделей этой серии герметизированы не все сочленения исполнительного механизма. Грузоподъемность этой серии манипуляторов составляет от 3 до 20 кг в зависимости от комплектации. Все оси, зубчатые колеса, шестерни и тросы изготовлены из нержавеющей стали, а

соединительные трубки, корпуса редукторов и ролики – из анодированного алюминия. Габариты манипулятора GM1000 можно оценить на чертеже, представленном на рис. 6. Монтаж манипулятора осуществляется с холодной стороны стены. Обзор камеры изнутри предоставлен оператору через защитное окно, расположенное под местом установки GM 1000-1300.

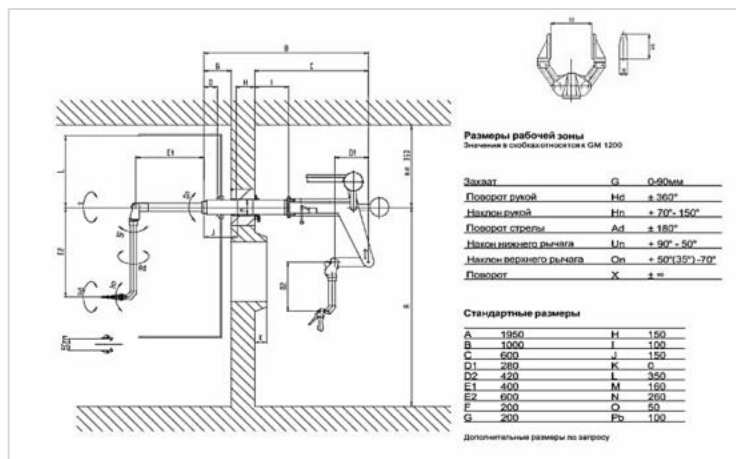


Рис.6. Схема установленного манипулятора GM 1000

Одним из современных манипуляторов является Terman TAO от французской компании LACALHENE, представленный на рис. 7.



Рис.7. Манипулятор Terman TAO

Манипулятор был разработан в 2016 году и на сегодняшний день находится в продаже. Terman TAO имеет 7 степеней подвижности и способен поднять до 30-ти кг груза. Приводные двигатели, в отличие от модели GM 1000, расположены в отдельном защищенном модуле, расположенном за стеной горячей камеры (см. рис. 7). Такое решение обусловлено низкой радиационной стойкостью материалов, применяемых в электромашинах [4]. Отдельный модуль исключает необходимость использования дорогостоящих материалов для защиты электроники от радиации, а также упрощает обслуживание. Еще одним из современных конструкторских решений является телескопическое устройство рабочей руки манипулятора, представленное на рис.8. Этим инженеры компании-разработчика добились очень большой рабо-

чей области манипулятора (радиус до 4250 мм), что делает его пригодным для использования в больших горячих камерах [5]. Задающее устройство этого манипулятора уже рассматривалось выше (см. рис.3).

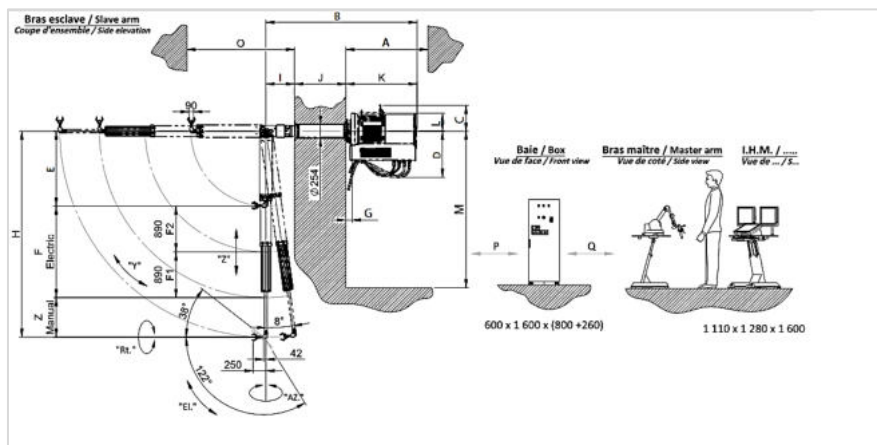


Рис.8. Схема расположения манипулятора и оператора

Кинематическая схема исполнительного механизма должна совпадать с кинематической схемой задающего устройства, поэтому будет выглядеть так же, как на рис.1. Конструкция звеньев была выбрана на основе существующих современных аналогов – поворотные и поступательные телескопические звенья, выполненные из радиационноустойчивых материалов, таких как анодированный алюминий и нержавеющая высокопрочная сталь.

Осуществление силомоментной связи, как уже указывалось ранее, производится путем установки приводов и в исполнительное устройство, и в задающее, при этом, образуется так называемая система двустороннего действия (Bilateral control). Такие системы бывают обратимыми симметричными и обратимыми несимметричными, необратимыми и комбинированными [1].

Силы, полученные от исполнительного устройства, могут быть либо непосредственно измерены с помощью датчиков силы, либо получены косвенно из данных от других датчиков, например, как ошибка положения, полученная из разницы между показаниями энкодеров ведомого и ведущего с последующим расчетом. Первый метод способен лучше воспроизводить силы, воспринимаемые исполнительным устройством. Однако такое управление может стать нестабильным в жестких условиях или при использовании высоких коэффициентов усиления обратной связи по силе. Кроме того, использование датчиков силы значительно повышает стоимость, увеличивает вес изделия, а, следовательно, снижает маневренность. К тому же, силовые датчики не везде можно установить на исполнительном устройстве.

Второй метод, с обратной связью по силе, выводимой из показаний положения шарнира, является по своей сути стабильной и недорогой методикой управления. Лучшим примером такого управления является серво-двусторонний контроль (описан Миядзаки и др. в 1986 г.) [6].

Серво-двустороннее управление основано на разнице между положениями каждого ведущего и ведомого шарниров (погрешность положения) для расчета крутящих моментов на обоих манипуляторах с использованием линейного управления, такого как ПИД. У исполнительного устройства крутящие моменты приведут его звенья в нужное положение при помощи ПИД-регулятора и соответствующей передаточной функции. Задающее устройство будет реализовывать обратную связь по силе через другую передаточную функцию, которая будет вычислять крутящие моменты, которые будут воздействовать на руку оператора. Если передаточные функции совпадают, то метод и называется симметричным двусторонним управлением.

В качестве приводных двигателей в задающем и исполнительном устройстве выбраны синхронные двигатели с постоянными магнитами (СДПМ). Такой выбор обусловлен тем, что СДПМ хотя и требуют более сложной системы управления, в отличие от двигателей постоянного тока (ДПТ), но обладают следующими преимуществами:

1. высокий КПД на всем диапазоне скоростей;
2. малые моменты инерции при больших моментах нагрузки;
3. небольшие габариты при значительных мощностных показателях;
4. возможность работы без редуктора;
5. синусоидальная противо-ЭДС с низким содержанием высших гармоник;
6. малые пульсации момента за счет оптимальной электромагнитной структуры [7];
7. возможность работы без датчиков положения, что особенно актуально для экстремальных условий [8].

В результате при проектировании были приняты следующие решения:

1. выбрана семиосевая кинематическая схема, наиболее удобная для работы оператора;
2. габариты задающего устройства и исполнительного устройства удалось уменьшить за счет смены связки «сельсин-датчик» и конического редуктора на вентильный привод, включающий СДПМ;
3. установка электроники в узлы задающего устройства позволит повысить компактность и маневренность манипулятора за счет отсутствия кабелей снаружи;
4. установка приводных двигателей исполнительного устройства в отдельном модуле вне горячей камеры повысит срок службы устройства и облегчит его обслуживание;
5. было выбрано симметричное двустороннее регулирование в системе, обеспечивающее силомоментную обратную связь;
6. конструкция предполагает избавить рабочего от стоячей работы: задающее устройство устанавливается возле кресла оператора, а размеры изделия согласуются со средними размерами руки человека.

Библиографический список

1. *Попов Е. П.* Робототехника и гибкие производственные системы. М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1987. 192 с.; *Полов М.* Первый водородный // Облако. 2017. №2 (03). С. 27 – 28.
2. *Юрьева Р. А.* и др. Модернизация робота-манипулятора для извлечения посторонних предметов из пеналов и коробов «горячего» бокса защитной камеры АЭС. СПб: ИТМО, 2017. 4 с.
3. ГОСТ Р 60.0.7.1-2016. Роботы и робототехнические устройства. Методы программирования и взаимодействия с оператором. Введ. 2018-01-01. М.: Стандартинформ, 2016. 11 с.
4. *Смирнов Ю. С., Кацай Д. А.* Обеспечение радиационной стойкости электромехатронных преобразователей // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Энергетика, 2014. С. 84.
5. Selliez-Vandernotte C., La Valla S. al. TERMAN PROJECT, A NEW TYPE OF MASTER SLAVE MANIPULATOR, HOTLAB 2013 – с.6.
6. Miyazaki F. Et al. A new control methodology toward advanced teleoperation of master-slave robot systems// Proceedings. 1986 IEEE International Conference on Robotics and Automation. 1986. doi: 10.1109/ROBOT.1986.1087546.
7. *Онищенко Г. Б.* Теория электропривода: учебник для студентов высших учебных заведений. М.: ИНФРА-М, 2017. 293 с. (Высшее образование – Бакалавриат).
8. *Гончаров В. О., Коротков Е. Б., Слободзян Н. С., Четвертухин А. В.* Система бездатчикового управления вентильным приводом // В сб.: «Молодежь. Техника. Космос». Труды ХОМНТК. СПб: БГТУ «Военмех», 2018. С. 212 – 217.

**ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ОБЛИКА БЕСПИЛОТНОГО
ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА ВЕРТОЛЕТНОГО ТИПА
КОРАБЕЛЬНОГО БАЗИРОВАНИЯ**

В. А. Быков

АО «Научно-производственное предприятие «Радар ммс», г. Санкт-Петербург

Одним из направлений развития флота является применение комплексов с беспилотными летательными аппаратами (БЛА), в том числе, вертолетного типа (ВТ), для решения задач, возлагаемых на корабль. Корабельные БЛА обладают следующими особенностями: взлет и посадка на корабль, работа в безориентированной местности, однородная взволнованная фоновая поверхность, разнородный характер обнаруживаемых целей. В свою очередь, БЛА ВТ, по сравнению с БЛА самолетного типа, имеют следующие особенности: способность взлета и посадки с взлетно-посадочных площадок (ВППл) ограниченного размера, а также способность зависать над требуемыми объектами и участками местности. Таким образом, проектируемые комплексы с БЛА ВТ корабельного базирования должны обладать следующими качествами:

1. повышенная плотность компоновки при заданном уровне эффективности;
2. малогабаритность (уменьшение габаритных размеров ВППл для взлета и посадки при заданных расстояниях до надстроек корабля; вмещение большего количества БЛА ВТ при заданных размерах ангара; уменьшение объема помещений для технического обслуживания);
3. унифицированность (возможность производить замену модулей с полезной нагрузкой в зависимости от поставленной задачи; возможность сокращения объема и состава оборудования, инструмента и запасных частей);
4. автономность (возможность осуществлять длительную эксплуатацию БЛА ВТ в условиях корабля вдалеке от баз снабжения).

Перечисленные задачи решаются при формировании облика БЛА ВТ.

Облик БЛА ВТ характеризуется конструктивно-компоновочной схемой и обладает следующими параметрами: тактическими, техническими, эксплуатационными и экономическими [1, 2]. К тактическим параметрам относят максимальную дальность и продолжительность полета, статический и динамический потолок, скорость полета, скороподъемность. К техническим параметрам – взлетную массу, массу целевой нагрузки, габаритные и энергетические характеристики БЛА ВТ. К эксплуатационным – время выполнения предполетных и послеполетных подготовок, трудозатраты на час полета, вероятность безотказной работы, ресурс систем, и др. К основным экономическим параметрам относят стоимость изготовления серийного образца, стоимость обслуживания и ремонта.

Задача формирования облика при проектировании БЛА ВТ является сложной математической задачей, связанной с определением конфигурации параметров (множество решений), характеризующей форму, структуру и особенности БЛА ВТ, обеспечивающей соответствие требованиям и ограничениям, предъявляемым к проектируемому БЛА ВТ.

Количество параметров, характеризующих структуру, архитектуру и размеры БЛА ВТ, и подлежащих определению в процессе формирования облика, достаточно велико. В данной статье рассматриваются особенности формирования облика БЛА ВТ корабельного базирования. Корабельное базирование вносит определенную специфику, влияющую на его тактические, технические и эксплуатационные параметры. К таким влияющим факторам стоит отнести скорость, направление и турбулентность результирующего потока над ВППл и за кормой корабля, волнение моря, качка корабля, воздействие морской среды, сложные гидрометеорологические условия, воздействие электромагнитных волн [4].

Таким образом, при формировании БЛА ВТ корабельного базирования необходимо учитывать статическую и динамическую совместимость БЛА ВТ и корабля, которая достигается с помощью авиационно-технических средств корабля (АТСК) [4].

Первым этапом определяется статическая совместимость. Статическая совместимость включает оптимизацию массогабаритных характеристик, повышение экономичности силовой установки (СУ), снижение номенклатуры средств обслуживания, так как эти факторы непосредственно влияют на площади и объемы, занимаемые БЛА ВТ при его размещении на корабле.

Вторым этапом определяется динамическая совместимость. Динамическая совместимость включает определение устойчивости и управляемости БЛА ВТ, раскрутку и остановку несущего винта, взлет и посадку, транспортировку БЛА ВТ по ВППл в условиях качки и турбулентного потока, вызванного архитектурой корпуса и надстройками корабля.

Важной частью при формировании облика БЛА ВТ является обеспечение живучести корабля. Живучесть обеспечивается различными методами, к которым относятся конструктивные мероприятия при проектировании, строительстве и модернизации [5]. Кроме этого, живучесть обеспечивается организационно-техническими мероприятиями, выполняемыми при эксплуатации, а также действиями экипажа при борьбе за живучесть при повреждении.

Для более детального анализа эксплуатации БЛА ВТ в корабельных условиях предлагается рассмотреть блок-схему формирования облика, с учетом ограничивающих параметров, обеспечивающих его базирование на корабле [2].

Блок-схема формирования облика БЛА ВТ корабельного базирования представлена на рисунке 1. В соответствии с приведенной блок-схемой на начальном этапе, исходя из назначения, задач и условия применения БЛА ВТ, определяются возможные схемы построения БЛА ВТ и варьируемые параметры. Из множества схематичных решений производится формирование облика, включающего в себя количественно-качественные показатели (характеристики, параметры, свойства), определяющие:

1. аэродинамическую компоновку;
2. объемно-массовую компоновку;
3. конструктивно-силовую схему;
4. параметры силовой установки, вид и количество топлива;
5. комплекс бортового оборудования;
6. целевую нагрузку, обеспечивающую выполнение поставленных задач;
7. параметры, определяющие взлетно-посадочные устройства ВПУ, совместно с КБО, влияющие на устойчивость, управляемость и безопасность взлета и посадки.

АТСК включает в себя функционально связанные элементы корабля и имеет в своем составе:

1. взлетно-посадочную площадку;
2. ангар;
3. систему заправки БЛА ВТ топливом, маслом и сжатыми газами;
4. систему электроснабжения, водоснабжения и проверки гидросистемы БЛА ВТ;
5. средства транспортировки и швартовки БЛА ВТ;
6. помещение для выполнения регламентных работ;
7. стартовый командный пост;
8. помещение для летного и технического состава;
9. систему ближней навигации и посадки;
10. систему подогрева силовых установок и агрегатов БЛА ВТ.

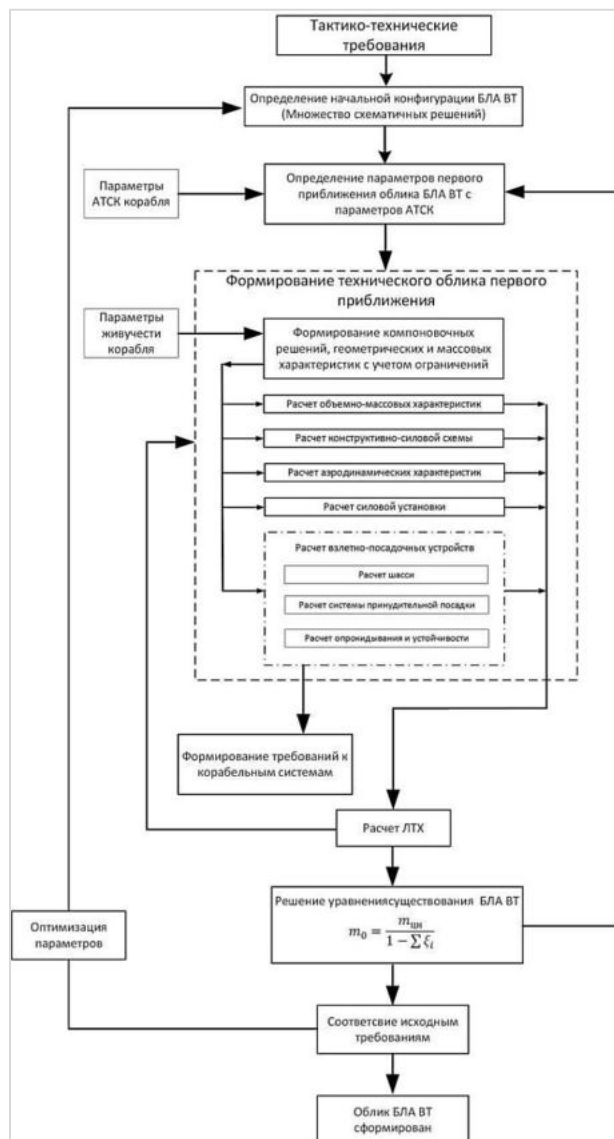


Рис. 1. Блок-схема формирования облика БЛА ВТ корабельного базирования

Параметры АТСК включают в себя исходную информацию о каждой составной части. Рассмотрим основные из них:

1. параметры ВППл – габаритные размеры, закон движения ВППл в пространстве при волнении морской поверхности;
2. параметры ангара – габаритные размеры пространства, места размещения средств обслуживания и т.д.;
3. параметры системы заправки – тип и количество горюче-смазочных материалов;
4. параметры системы электроснабжения – тип и значение источников электроснабжения, типы соединителей для подключения;
5. параметры системы транспортировки и швартовки – параметры транспортера (тянущая сила, длина исполнительных средств и др.), места установки швартовочных рымов и т.д.;

6. параметры стартового командного поста – габаритные характеристики, информационно-технические характеристики (линии связи, характеристики передаваемой информации);

7. параметры системы ближней навигации и посадки – состав оборудования, параметры работы системы.

Особое внимание необходимо уделить параметрам ВППл корабля, ее габаритные размеры связаны с задачей статической совместимости БЛА ВТ и корабля. В свою очередь решение задач динамической совместимости, производится исходя из кинематики движения ВППл, а именно ее сложных пространственных положений. К таким задачам относятся выполнение раскрутки и остановки несущего винта БЛА ВТ, его взлет и посадка, проведение технического обслуживания (подвеска и снятие целевой нагрузки, заправка БЛА ВТ).

Таким образом, БЛА ВТ корабельного базирования должны быть максимально адаптированы под использование имеющихся АТСК корабля. Характеристики АТСК корабля зависят от аэродинамических и динамических характеристик носителя, сочетающих требования к техническому обслуживанию БЛА ВТ, определения соответствия требований безопасности полетов и эксплуатации БЛА ВТ с системами корабля, надежности оборудования и согласованности действий корабля, пилотируемого вертолета и группировки БЛА ВТ. Рассмотрим влияние требований обеспечения живучести корабля на БЛА ВТ.

Одним из важных элементов живучести является защита личного состава корабля. Комплекс с БЛА ВТ по своему принципу построения подразумевает наличие экипажа, находящегося вне ЛА, а именно, на постах управления. Поэтому, выполнение задач с применением комплекса с БЛА ВТ с точки зрения защиты личного состава является более эффективным, чем применение пилотируемого ЛА, ввиду угрозы жизни при выполнении задания. Кроме этого, защита личного состава обеспечивается компоновкой БЛА ВТ, а именно взаимодействием личного состава при выполнении технического обслуживания, предполетной подготовки, подготовки к повторному вылету и послеполетной подготовки, таким образом, чтобы избежать появления внештатных и аварийных ситуаций.

Взрыво- и пожаробезопасность обеспечивается размещением комплекса бортового оборудования, систем и агрегатов БЛА ВТ в разделенных зона (отсеках). Решение данной задачи происходит при проектировании БЛА ВТ на этапе формирования компоновочных решений. Кроме этого, данные требования достигаются путем применения негорючих и трудногорючих материалов, обладающих умеренной дымообразующей способностью в соответствии с нормативно-технической документацией. К примеру, топливная система БЛА ВТ, должна быть безопасной при проведении любых видов предусмотренных работ на всех этапах эксплуатации, а топливные баки должны быть стойкими к гидродарам, защищены от взрыва, что достигается путем применения полипеноуритановых вкладышей.

Обеспечение живучести оружия и технических средств корабля достигается выполнением требований по электромагнитной совместимости КБО БЛА ВТ с системами корабля. Данная задача решается непосредственно при адаптации БЛА ВТ к проекту корабля.

Также важным элементом живучести является обеспечение непотопляемости. Со стороны комплекса с БЛА ВТ непотопляемость должна обеспечиваться алгоритмами работы системы управления БЛА ВТ в ближней зоне корабля путем выполнения взлета, захода на посадку и выполнения взлета и посадки в автоматическом режиме. При этом внутренняя система контроля должна своевременно обнаруживать и сообщать о возникающих неисправностях с БЛА ВТ.

Таким образом, корабельные БЛА ВТ должны иметь оптимизированные объемно-массовые характеристики, в сторону уменьшения размеров полетной и транспортировочной конфигурации, и поддерживающие показатели живучести корабля на определенном уровне. Уменьшение габаритных размеров осуществляется за счёт системы складывания лопастей несущего винта (НВ), вдоль фюзеляжа и уборки выступающих элементов конструкции БЛА ВТ.

Вышеуказанные параметры и ограничения учитываются при первоначальном формировании компоновочных решений, геометрических и массовых характеристиках, а также выступают начальными параметрами для дальнейших шагов выполнения формирования облика БЛА ВТ.

Конструктивно-силовая схема определяется исходя из принятой общей компоновки изделия и нагрузок, возникающих в процессе эксплуатации [6-7]. Выбираются минимальные сечения силовой конструкции, обеспечивающие требуемые показатели прочности, жесткости, и точности конструкции. Расчет конструктивно-силовой схемы позволяет определить наиболее подходящее построение конструкции, воспринимающей все нагрузки и моменты, действующие на БЛА ВТ в процессе эксплуатации.

Аэродинамические параметры включают в себя расчеты характеристик несущей системы, аэродинамической компоновки БЛА ВТ [7]. Под аэродинамической компоновкой летательного аппарата понимают внешние формы и способы сочетания его частей, создающих в полете основные аэродинамические силы и моменты. При формировании аэродинамической компоновки определяют количество и расположение НВ, форму фюзеляжа, тип и расположение СУ, параметры горизонтального и вертикального оперения, а также количество и формы выступающих в поток элементов конструкции.

Параметры силовой установки включают в себя расчеты дроссельных характеристик, удельной мощности, мощности при различных расчетных случаях, часовой расход топлива на выполнение типового полета [7].

Параметры взлетно-посадочных устройств (ВПУ) определяют исходя из параметров шасси и системы принудительной посадки. Расчет шасси включает в себя определение количества опор, их конструктивное оформление с учетом специфики работы и расположения относительно центра масс БЛА ВТ [7]. В ходе расчета определяют углы выноса и опрокидывания, стояночный угол, колею шасси, высоту НВ над землей, базу шасси, вынос БЛА ВТ, угол выноса основных опор шасси.

Система принудительной посадки повышает устойчивость при взлете и посадке БЛА ВТ на ВППл в условиях качки корабля [4]. Конструктивное направление систем автоматической швартовки связано с созданием различных устройств, выполняющих роль дополнительной механической связи БЛА ВТ с кораблем, позволяющей уменьшить его опрокидывание и со-скальзывание с ВППл. Возможен также вариант объединения системы транспортирования с системой принудительной посадки, когда платформа, за которую «зацепляется» БЛА ВТ, служит и системой перемещения по палубе корабля.

Предлагаемый подход к задаче формирования облика БЛА ВТ корабельного базирования продемонстрировал особенности, которые необходимо учитывать при ее выполнении.

Библиографический список

1. *Мышкин Л. В.* Прогнозирование развития авиационной техники. М.: Наука, 2017. 480 с.
2. *Быков В. А., Парненко А. Е.* Подход к методике формирования облика беспилотного летательного аппарата обеспечивающего посадку на сложодвижущуюся платформу // II Всероссийская научно-практическая конференция беспилотная авиация: состояние и перспективы развития. Воронеж: ВУНЦ ВВС «ВВА». 2020, 5 с.
3. *Быков В. А., Парненко А. А., Парненко А. Е., Шариков А. В.* Подход к формированию методики оценки стоимости жизненного цикла беспилотного воздушного судна вертолетного типа // Радиопромышленность. 2020. Т. 30. № 4. С. 62 – 71.
4. *Соковиков Ю. Г.* Применение вертолетов с авианесущих кораблей. М.: Военное издательство, 1989. 180 с.
5. Руководство по обеспечению живучести надводного корабля от 25.07.2018 №821.
6. *Щеверов Д. Н.* Проектирование беспилотных летательных аппаратов. М.: Машиностроение, 1978. 264 с.
7. *Проскурин В. Д.* Расчет параметров вертолета на этапе предварительного проектирования: учебное пособие. Оренбург: ОГУ, 2014. 199 с.

Л. В. Головки

ГУМРФ им. адмирала С. О. Макарова

Задача прогнозирования дальности видения для робототехнических комплексов (РТК) на рабочих глубинах в настоящее время остаются актуальной. Для измерения прозрачности воды существует методика, основанная на применении диска Секки. Диск Секки – это диск белого цвета диаметром 300 мм, который опускают в воду с борта судна и визуально группой наблюдающих определяется момент исчезновения диска. По длине вытравленного троса получают данные о прозрачности приповерхностного слоя водной среды.

Таким образом, прозрачность водной среды любого участка морской акватории измеряется величиной Z_0 , выраженной в метрах. Недостатком данного способа является то, что эта величина определяет прозрачность водной среды только для приповерхностного слоя. Сказанное означает, что конструкторы подводных систем технического зрения не могут спрогнозировать реальную дальность видимости бортовых телевизионных систем на рабочих глубинах РТК. У автора нет данных, что до настоящего времени эта проблема решена, поэтому направление исследований в данной области характеризуется новизной и актуальностью.

Научной базой получения данных о прозрачности воды на рабочих глубинах РТК может служить закон Бугера, определяющий ослабление светового пучка при распространении его в поглощающей среде [1]:

$$I(l) = I_0 \cdot e^{-\varepsilon l} \quad (1)$$

где $I(l)$ – интенсивность света, прошедшего слой вещества толщиной l ; I_0 – интенсивность света на входе в вещество; ε – показатель ослабления среды.

Процесс поглощения света – это уменьшение его интенсивности при прохождении через вещество вследствие превращения световой энергии в другие виды энергии.

При прохождении монохроматического света через слой вещества dl изменение интенсивности падающего света I будет равно:

$$dI = \zeta I dl \quad (2)$$

где ζ – величина, зависящая от свойств поглощающего вещества и называемая коэффициентом поглощения.

Закон Бугера показывает, что интенсивность света при поглощении в веществе убывает экспоненциально в зависимости от пройденного пути.

Водная среда, по сравнению с воздушной, имеет отличительные физические свойства. Какая-то часть световых лучей отражается водной поверхностью, другая часть рассеивается растворёнными в ней веществами, а ещё часть превращается в световую энергию. Вода также состоит из оптических ингредиентов – планктона, растворённых веществ и пр. Для визуализации объектов поиска на рабочих глубинах эти объекты требуется освещать системами подсветки. Световой поток, состоящий из большого числа фотонов, распространяется в водной среде от прожектора до объекта наблюдения. В процессе распространения фотоны испытывают как поглощение на оптических ингредиентах, так и многократное отражение. Многие из отраженных световых элементарных частиц в результате отражения возвращаются на вход телекамеры, образуя тем самым помеху обратного рассеивания телевизионному приёму (ПОР). Эта помеха снижает контраст телевизионного изображения, ухудшает его качества, что ведёт к уменьшению дальности наблюдения системами технического зрения РТК. Разработчики телевизионной аппаратуры для РТК, создавая подводные системы технического зрения, опираются на среднестатистические показатели и определяют их потенциальную дальность на глубине усреднённой величиной, составляющей $0,7 \cdot Z_0$. Реальные данные получить

пока не представляется возможным. Тем не менее, решение данной проблемы может быть осуществлено на базе закона Бугера (1).

Яркость — это сила света, излучаемая единицей площади поверхности в определенном направлении. Единица измерения яркости – кандела на метр квадратный [кд/м²]. Опираясь на закон Бугера, упрощённо её можно выразить соотношением:

$$B_0 = \frac{B}{e} \quad (3)$$

где B_0 – это яркость падающего света; B – яркость падающего света после прохождения вещества толщины l ; e – постоянная, равная 2,71, основание натурального логарифма.

Задача сводится к нахождению расстояния в гидросфере между осветителем и оптическим приёмником, то есть величины l_{opt} , чтобы соотношение (3) выполнялась (рис. 1). В этом случае можно написать, что: $l_{opt} = \tau$, где τ – оптическая глубина.

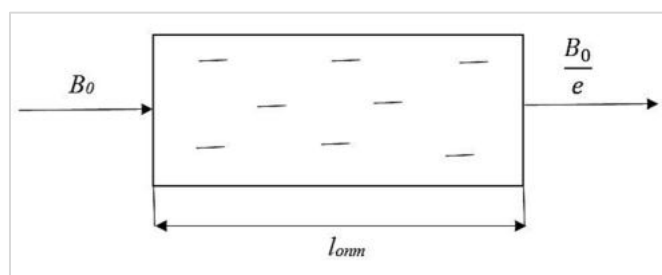


Рис. 1. Закон Бугера

Рассмотрим закон Бугера на примере РТК, называемых иногда подводными аппаратами (ПА) (рис. 2):

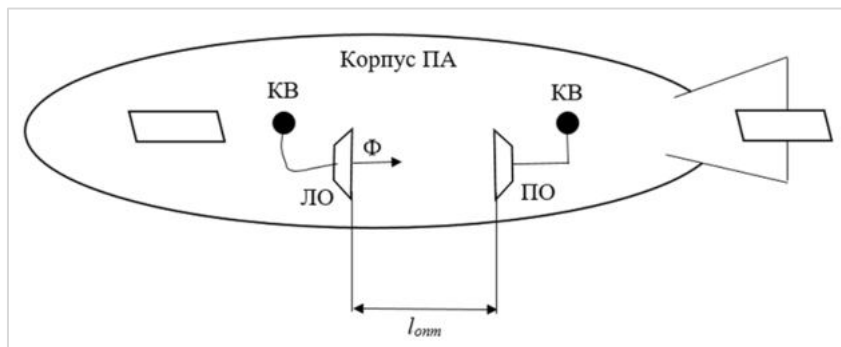


Рис. 2. Решение задачи на примере подводного аппарата

Через левый кабельный ввод (КВ) ПА осуществляется подключение лазерного осветителя (ЛО) и управление его работой. ЛО будет формировать коллимированный световой поток Φ . К другому КВ п приёмник оптический (ПО), предназначенный для приёма светового потока Φ . Отличительной особенностью конструкции является то, что с помощью механического привода ПО способен перемещаться в горизонтальной плоскости, оставаясь на оптической оси с ЛО. Это обеспечивает приведение его в такое состояние, при котором величина излучаемого светового потока на оптическом приёмнике будет уменьшена в e раз, то есть до значения $\frac{\Phi}{e}$. Тогда будет справедлива формула:

$$l_{opt} = \tau = 1 \quad (4)$$

Оптическая длину τ выражается формулой (5) из [1]:

$$\tau = \varepsilon \cdot l \quad (5)$$

С учётом (4) и (5) получим:

$$1 = \varepsilon \cdot l \quad (6)$$

Окончательно, прозрачность водной среды ε на любой глубине РТК может быть выражена следующей формулой:

$$\varepsilon = \frac{1}{l} \quad (7)$$

Итак, предложен способ определения прозрачности водной среды не только в приповерхностном слое, но и на любой глубине. Это обеспечивает возможность прогнозирования режима придонного плавания РТК с учётом выбора оптимальной скорости и отстояния от грунта для предотвращения навигационных аварий.

Научный руководитель – д.т.н. В. Л. Мартынов.

Библиографический список

1. Долин Л. С., Левин И. М. Справочник по теории подводного видения. Л: Гидрометеиздат, 1991. 230 с.

УДК 621.856.8

МЕХАТРОННОЕ УСТРОЙСТВО ИСПОЛНИТЕЛЬНОГО ОРГАНА МАНИПУЛЯТОРА

А. В. Горбунова

Балтийский государственный технический университет «Военмех» им. Д. Ф. Устинова

Ведение. Актуальность мехатронного устройства исполнительного органа манипулятора заключается в том, что, основными компонентами мехатронной системы являются механизмы и система управления, содержащая, как правило, привод электрический, гидравлический или пневматический. В работе выбран пневмо-механический, точнее маховичный двигатель, который обеспечивает высокую точность позиционирования, увеличенное КПД, улучшенной динамической характеристикой. Механизм системы движения осуществляется по определённой программе с помощью управляемых приводов.

В последнее время всё чаще возникает потребность в создании технических систем и мехатронных устройств, обладающих наряду с высокими техническими характеристиками, способностью к «интеллектуализации» своей функциональной деятельности. Развитие современных средств позволило сократить размеры и массу мехатронных устройств, способных выполнять сложные логические и усилительные операции. Интегральное их исполнение, повышает надёжность функционирования оборудования в условиях эксплуатации [1].

Аннотация. Данное мехатронное устройство исполнительного органа манипулятора содержащее шарнирно связанные звенья и приводы их перемещения обладает упрощенной конструкцией, малой энергоёмкостью, увеличенным КПД, высокой точности позиционирования и улучшенной динамической характеристикой. Звенья выполнены в виде корпуса из шарнирно связанных частей, зубчатого венца, расположенного на оси шарнира, маховика с лопастями, установленного жестко на валу и кинематически связанного через зубчатый венец с двумя электромагнитными муфтами, причём ось указанного вала коаксиальна оси шарнира, оси по крайней мере двух соседних звеньев взаимно перпендикулярны. Приводы электромагнитными выполнены в виде источников избыточного давления, направленных на лопастной маховик [2].

Реферат. На рис. 1 изображена конструктивная схема мехатронного устройства исполнительного органа манипулятора. На рис. 2 кинематическая схема двух шарниров с указанием действующих сил и моментов.

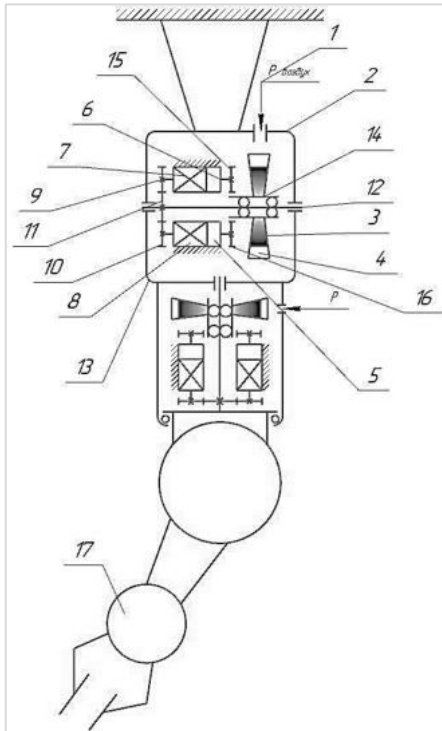


Рис. 1. Конструктивная схема мехатронного устройства исполнительного органа манипулятора

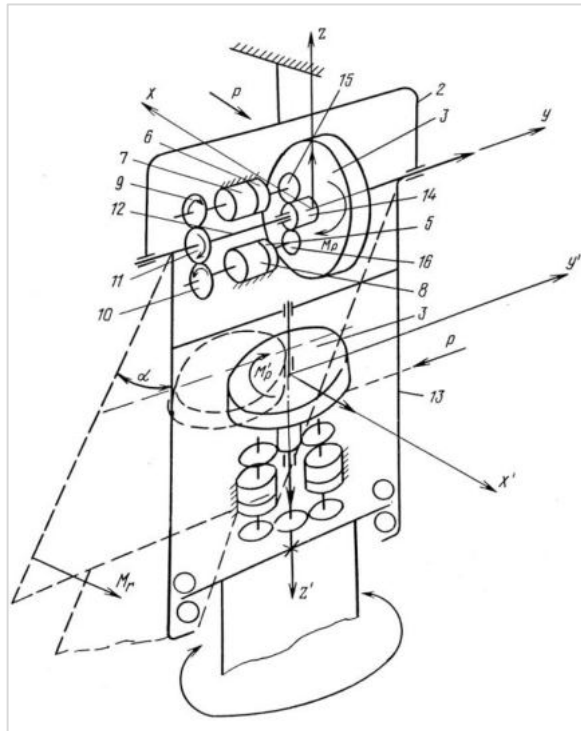


Рис. 2. Кинематическая схема двух шарниров с указанием действующих сил и моментов

Мехатронное устройство содержит источник 1 избыточного давления воздуха P , корпус 2 – первое от основания звено с подводом к нему источника 1, маховик 3 с лопастями 4, электромагнитные муфты 5 и 6, ведомые части которых через редукторы 7 и 8 и колеса 9 – 11 кинематически связаны между собой.

Колесо 11 в свою очередь размещено на оси 12 первого шарнира, образованного корпусом 2 второго звена 13. Маховик 3 расположен жестко на валу 14 с возможностью вращения относительно оси 12 шарнира, кроме того на валу 14 выполнен зубчатый венец, который кинематически через шестерни 15 и 16 связан с ведущими частями электромагнитных муфт 5 и 6. Кинематические связи муфт 5 и 6 между собой и осью 12 имеют передаточное отношение 1:1. Привод каждого последующего звена от основания к исполнительному звену 17 имеет массу, меньше массы привода предыдущего звена в 1,5 раза (оптимальный вариант) [3].

Мехатронное устройство работает следующим образом. Энергия сжатого воздуха подается под давлением P от источника 1 в корпус 2 с расчетом, что воздушная струя попадает на лопасти 4 маховика 3. Маховик 3 разгоняется до угловой скорости и до получения им запаса кинетической энергии. Одновременно с маховиком 3 вращается вал 14, который передает поочередно крутящий момент M_r через шестерни 15 или 16 в зависимости от требуемого направления движения звена 13 при срабатывании ведущих частей электромагнитных муфт 5 или 6. Они срабатывают от управляющих сигналов задающего устройства (на рис. не показано) и далее передают крутящий момент через редукторы 7 или 8, колёсам 9 или 10 первого

шарнира - в данном случае, шарниру качания (с координатами X, Y, Z). Ось 12 первого шарнира, жестко соединенная с корпусом следующего звена 13, вращаясь, вынуждает перемещаться все последующие звенья манипулятора, вплоть до исполнительного звена 17. Люфт, имеющийся между колёсами 9 - 11, гироскопическим моментом M_g , возникающим при вращении маховика 3 последующего звена 13 (входящего одновременно в шарниры качания и вращения). При отклонении корпуса этого звена на угол V длина этот корпус действует гироскопический момент M_g , направленный вдоль оси X, который создаёт натяг взаимодействующих шестерен 11 и 9, или 11 и 10. В свою очередь маховик 3 звена качания создаёт гироскопический момент M_g , действующий на корпус звена вдоль оси Y что создаёт натяг шестерен (колёс) 9 - 11 в шарнире вращения. Аналогично выбираются люфты и в остальных звеньях мехатронного устройства [4].

Заключение. Демпфирование колебаний и компенсация ошибок позиционирования звеньев мехатронного устройства, вызванных люфтами передач позволяют улучшить точность и динамические характеристики мехатронного устройства в целом, что приводит к росту производительности и расширению его функциональных возможностей. Гидродинамическое воздействие открывает возможность снижения массы подвижных звеньев при неизменных точностных и динамических характеристиках, что позволяет достичь заданной точности при меньшей мощности привода и, способствует уменьшению металлоёмкости и улучшению энергетических показателей мехатронного устройства. Наличие автоматической выборки люфта в предлагаемом манипуляторе, без включения дополнительных средств, резко снижает стоимость изготовления, повышает надежность и расширяет возможности применения мехатронного устройства. Простота конструкции обеспечивает высокую надежность предлагаемого мехатронного устройства [5].

Научный руководитель – к. т. н., доцент Е. Б. Коротков.

Библиографический список

1. Горбунова А. В. Передовые разработки в области универсальных модульных приводов прецизионных мехатронных систем // Материалы конференции «Открытые инновации 2020». М.: 2020.
2. Горбунов В. А. Манипулирующее устройство. АС SU 906686 А1, 1982.
3. Горбунов В. А. Шарнирное соединение. АС SU 842259 А1, 1981.
4. Горбунов В. А., Коровин О. В., Мокрушин В. И., Талайков А. П. Сустав манипулятора. АС SU 944922 А1, 23.07.1982.
5. Горбунов В. А. Манипулятор. АС SU 779068 А1, 15.11.1980.

УДК 681.5

РЕАЛИЗАЦИЯ РЕЖИМА БЕЗДАТЧИКОВОГО УПРАВЛЕНИЯ СИНХРОННЫМ ДВИГАТЕЛЕМ С ПРИМЕНЕНИЕМ СОВРЕМЕННОГО МИКРОКОНТРОЛЛЕРА

В. Д. Грагерт, В. О. Гончаров, Н. С. Слободзян, М. И. Надежин

Балтийский государственный технический университет «Военмех» им. Д. Ф. Устинова

Надежная и качественная работа робототехнического комплекса зависит от алгоритмов работы и структуры системы приводов. Рассмотрим передовые средства для реализации системы бездатчикового управления синхронным двигателем с постоянными магнитами

(СДПМ) с трапецеидальной формой противо-ЭДС, получившим на сегодняшний день широкое распространение.

Синхронный двигатель с постоянными магнитами имеет ряд преимуществ перед традиционным двигателем постоянного тока: отсутствие малонадежного щеточно-коллекторного узла, высокие показатели КПД и удельной мощности, широкий диапазон регулирования скоростей. Однако, обычно СДПМ оборудован датчиком положения ротора, выход из строя которого сказывается на периоде безотказной работы системы. По этой причине в данной статье рассмотрен метод синтеза бездатчиковой системы управления на основе современного микроконтроллера (МК).

При бездатчиковом управлении двигателем фазные напряжение формируются при помощи широтно-импульсной модуляции (ШИМ). В зависимости от сформированной комбинации управления, на каждую фазу двигателя подается высокий или низкий уровень сигнала, либо фаза остается «свободной» – отключенной от питающего напряжения и земли и в ней наводится сигнал противо-ЭДС. На

Рис. 1 показана единичная функция противо-ЭДС обмоток СДПМ с трапецеидальной формой [2].

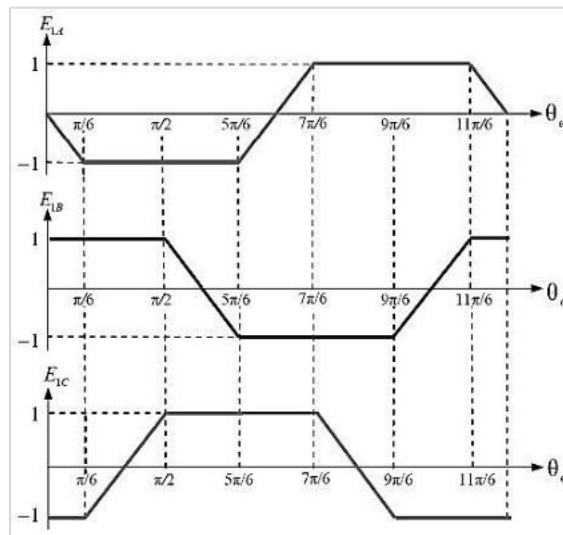


Рис. 1. Единичная функция формы ЭДС обмоток СДПМ с трапецеидальной формой

Теоретически, измеряя напряжения на трех фазах двигателя, можно определять истинное положение ротора с высокой точностью, однако это требует качественной фильтрации измеряемых сигналов и большой вычислительной мощности управляющего устройства при работе двигателя на высоких скоростях. Однако, в ряде скоростных приводов при бездатчиковом управлении такой точности определения положения ротора не требуется. Сравнение напряжения средней точки двигателя и величины противо-ЭДС в свободной фазе позволяет определить момент их равенства. Этой информации достаточно для определения текущего положения ротора (с дискретностью шесть раз за электрический оборот) и формирования необходимой управляющей комбинации для коммутации обмоток двигателя [2].

Под напряжением средней точки двигателя будем понимать разность потенциалов между точкой соединения обмоток фаз двигателя по схеме «звезда» и землей. Однако, обычно средняя точка двигателя для непосредственного измерения физически не доступна, поэтому в си-

стеме управления реализована виртуальная средняя точка, напряжение на которой повторяет напряжение реальной средней точки двигателя.

Техническое решение, применяемое для создания виртуальной точки, представлено на **Ошибка! Источник ссылки не найден.** Напряжение виртуальной средней точки представляет собой суммарное напряжение трёх фаз двигателя. Для реализации виртуальной средней точки три фазы двигателя соединены друг с другом при помощи резисторов. Для возможности измерения сигналов цифровыми микросхемами применены цепи согласования – делители напряжения и фильтрующие цепи [3].

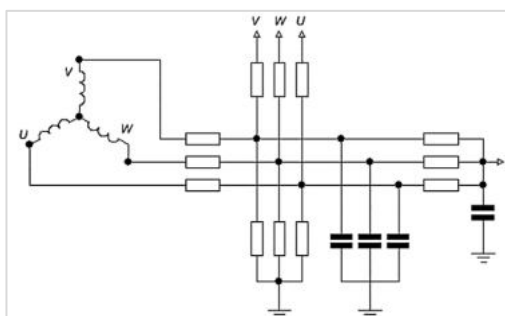


Рис. 2. Схема создания виртуальной точки

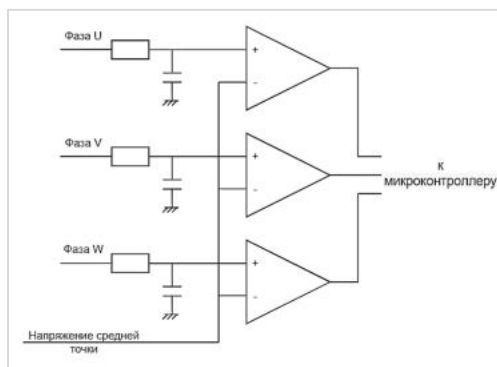


Рис. 3. Схема формирования сигналов положения ротора

Для сравнения сигналов наводимой противо-ЭДС и напряжения виртуальной средней точки, применяются компараторы напряжения (рисунок 3). На инвертирующий вход трёх компараторов подается напряжение виртуальной средней точки, на неинвертирующий вход каждого компаратора подается фазное напряжение. В тот момент, когда величина противо-ЭДС достигает напряжения средней точки формируются соответствующие сигналы о положении ротора, поступающие на вход микроконтроллера.

Для реализации бездатчикового управления в данной работе в качестве управляющего устройства выбран микроконтроллер STM32F031C6. Для программирования и отладки применяется программное обеспечение компании разработчика микроконтроллеров STMicroelectronics – CubeIDE, с поддержкой библиотеки HAL.

Реализация рассмотренного алгоритма основана на использовании специального режима настройки таймеров контроллера «Interfacing with Hall sensors», подробное описание которого приводится в документации.

Данный режим управления использует два таймера: один таймер с расширенным функционалом (TIM1 или TIM8), и один интерфейсный таймер (TIM2, TIM3, TIM4 или TIM5). Таймер с расширенным функционалом используется для генерации ШИМ-сигнала. Интерфейсный таймер предназначен для детектирования сигналов компараторов, измерения интервалов между ними, формирования необходимых задержек и прерываний. На рисунке 4 представлена диаграмма работы таймеров в описанном режиме [4].

Первый канал интерфейсного таймера работает в режиме захвата внешних сигналов, получаемых от компараторов. При изменении логического уровня на одном из входов таймера срабатывает прерывание по захвату, а в регистре захвата первого канала записывается значение счетчика интерфейсного таймера в момент прихода фронта.

Второй канал настроен на срабатывание по совпадению, это необходимо для формирования задержки на включение новой управляющей комбинации. В регистр сравнения записывается значение, равное половине периода, измеренного первым таймером между моментами

прихода сигналов с компараторов. Второй канал генерирует прерывания для задания новой комбинации коммутации обмоток двигателя.

Таймера работают по иерархии ведущий / ведомый таким образом, что сигнал с интерфейсного таймера поступает на таймер с расширенным функционалом в момент, когда необходимо осуществлять новую коммутацию обмоток.

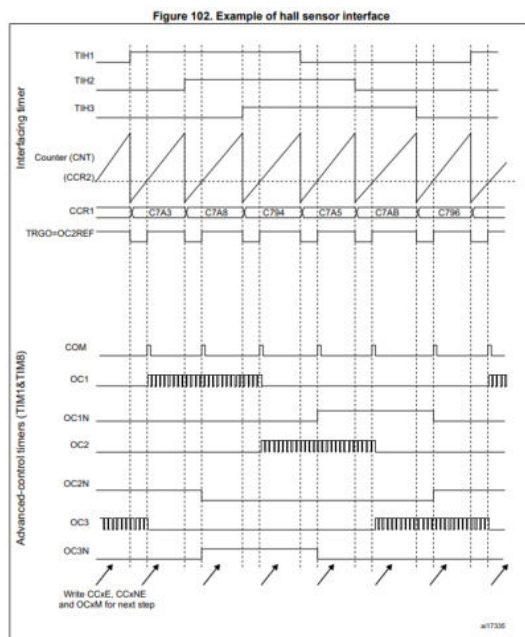


Рис. 4. Диаграмма работы таймеров в режиме «Interfacing with Hall sensors»

Для настройки режима бездатчикового управления в Cube IDE интерфейсного таймера, в рассматриваемом примере таймер 2, включен режим «XOR ON / Hall Sensor Mode», и настроен так, как указано на рис. 5. Также необходимо разрешить прерывания для данного таймера.

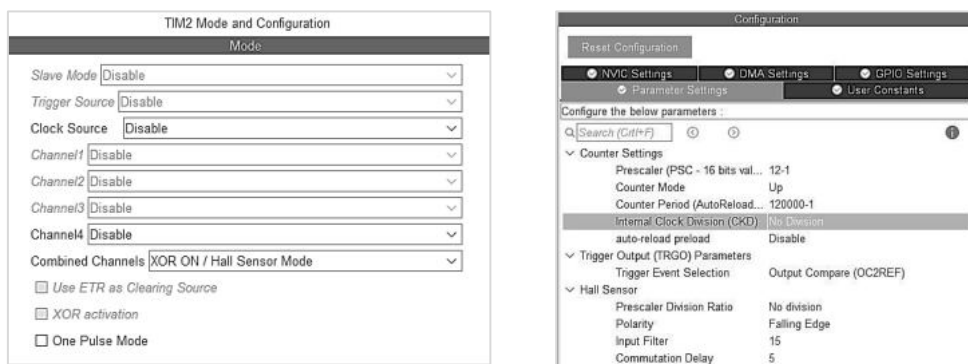


Рис. 5. Настройка таймера 2 в режиме «Interfacing with Hall sensors»

Настройки таймера для формирования управляющих ШИМ сигналов (в примере таймер 1) показаны на рис. 6. Для таймера 1 так же необходимо разрешить прерывания.

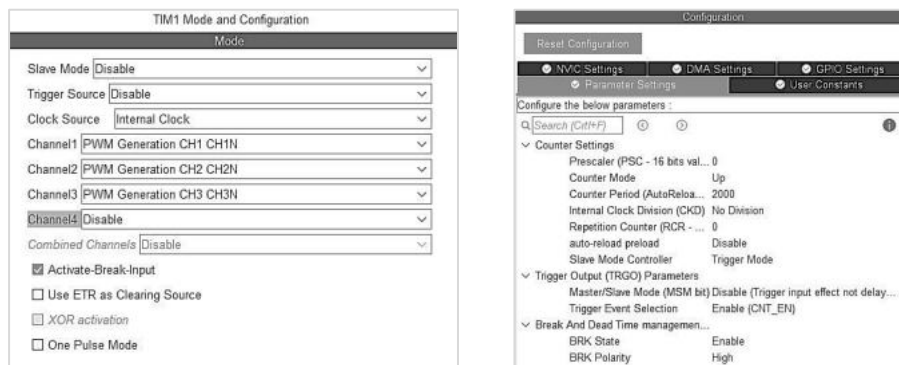


Рис. 6. Настройка таймера 1 для работы в режиме «Interfacing with Hall sensors»

После настройки периферии, средой проектирования CubeIDE автоматически генерируется основной программный код на языке Си. Для реализации бездатчикового управления также необходимо добавить следующий программный код.

1. При инициализации периферии необходимо добавить функцию описания события, для создания связи прерывания таймера 1 с генерируемым событием таймера:

```

1 HAL_TIMEx_ConfigCommutEvent_IT(&htim1,TIM_TS_T2FP2,TIM_COMMUTATION_TR
  GI);

```

2. Обработчик прерывания по захвату сигнала от компаратора:

```

1 void HAL_TIM_IC_CaptureCallback(TIM_HandleTypeDef *htim){
2     uint32_t period;
3
4     if(htim->Instance == TIM2 && htim->Channel == HAL_TIM_ACTIVE_CHANNEL_1){
5
6         period = HAL_TIM_ReadCapturedValue(&htim2, TIM_CHANNEL_1);
7         HAL_TIM_SET_COMPARE(&htim2, TIM_CHANNEL_2, period/2);
8     }
9 }

```

Первый канал интерфейсного таймера измеряет временной интервал между коммутациями обмоток. Величина задержки новой коммутации обмоток задается в регистр сравнения второго канала и равна половине измеренного временного интервала первого канала таймера.

3. Обработчик прерываний по событию, полученному от второго таймера:

```

1 void HAL_TIMEx_CommutCallback(TIM_HandleTypeDef *htim){
2
3     if(htim->Instance == TIM1){
4
5         // Здесь необходимо поместить код обработки прерывания, формирования
6         // нового управляющего сигнала и коммутации обмоток двигателя.
7     }
8 }

```

Вызов данной функции происходит при достижении ротором положения, необходимого для изменения направления вектора поля статора. Для этого необходимо считать логические значения на выводах, к которым подключены компараторы, определить таким образом текущее положение ротора, и подать следующую комбинацию управления.

Таким образом, в статье рассмотрен принцип реализации бездатчикового управления синхронным двигателем с постоянными магнитами по сигналам противо-ЭДС на базе микроконтроллера и программного обеспечения компании STMicroelectronics. Функциональные возможности современных микроконтроллеров и программного обеспечения позволяют реализовать достаточно сложный алгоритм бездатчикового управления при помощи аппаратных возможностей самого МК. Это позволяет разработчику сократить время на написание и отладку программы и сосредоточиться на более фундаментальных исследованиях, что крайне необходимо при современных темпах развития науки и техники.

Важно отметить, что представленные результаты так же могут применяться для управления СДПМ с синусоидальной формой противо-ЭДС. Однако стоит учитывать, что для каждого типа двигателя предпочтителен свой тип управления: для двигателя с трапецеидальным противо-ЭДС – коммутация по датчику положения ротора (ДПР), для двигателя с синусоидальным противо-ЭДС – векторное управление.

Библиографический список

1. Басков С. Н., Лицин К. В. Высокочастотная инжекция сигналов при бездатчиковом методе определения углового положения ротора синхронного двигателя // *Машиностроение: Сетевой электронный научный журнал*. 2013. Т. 1. №1. С. 28 – 33.
2. Гончаров В. О., Коротков Е. Б., Слободзян Н. С., Четвертухин А. В. Система бездатчикового управления вентильным приводом // В сб. «Молодежь. Техника. Космос». Труды ХОМНТК. СПб: БГТУ «Военмех», 2018. С. 212 – 217.
3. Синхронные двигатели с постоянными магнитами на роторе: управление (синус и/или трапеция) // *habr*. [Электронный ресурс]. URL: <https://habr.com/ru/post/539542/> (дата обращения 29.03.2021).
4. Управление бездатчиковыми бесколлекторными двигателями (Sensorless BLDC) // *Avislab*. [Электронный ресурс]. URL: <https://blog.avislab.com/brushless04/> (дата обращения 29.03.2021).
5. STM32F031x4 STM32F031x6. Datasheet - production data [Электронный ресурс]. URL: <https://www.st.com/resource/en/datasheet/stm32f031c6.pdf> (дата обращения 29.03.2021).

УДК 62.1

МИКРОМИНИАТЮРИЗАЦИЯ ИСПОЛНИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

В. Д. Грагерт, В. И. Зинченко, А. А. Киселев, Е. Б. Коротков

Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова

Освоение очередных размерностей в технике происходит поэтапно, сначала на отдельных функциональных компонентах, после чего, на основании отдельно микроминиатюризованных частей, создаются целые технические системы новых размерностей. В робототехнических системах этот процесс начинается с вычислительных и информационно-управляющих устройств, после чего следуют сенсорные системы, и, наконец, с большим отставанием, развиваются силовые компоненты [1].

Исполнительное устройство – это устройство системы автоматического управления или регулирования, воздействующее на процесс в соответствии с получаемой командной информацией. Оно состоит из двух функциональных блоков: исполнительного механизма и регулирующего органа [2]. В большинстве случаев, именно исполнительный механизм имеет самые

большие массогабаритные характеристики, и тормозит процесс миниатюризации. Это объясняется тем, что технические решения, применяемые для их создания, базируются на идеях ещё XVIII века, развитие которых давно зашло в насыщение.

В настоящее время этап миниатюризации исполнительных механизмов, в области самых распространенных устройств этой ниши – электродвигателей, выглядит следующим образом.

Двигатель постоянного тока (ДПТ). Это один из самых распространенных типов электрических машин, обладающий самой простой конструкцией. Первая машина, которая напоминает современные модели, создана Б. С. Якоби ещё в 1834 году. При проектировании устройства он основывался на эффекте, открытом Майклом Фарадеем.

Таким образом, история развития ДПТ насчитывает уже более 80 лет, за это время устройство машины перетерпело множество изменений, ученые со всего мира изучали и совершенствовали технологию, чтобы довести ДПТ до характеристик, которыми они обладают сейчас. И, согласно тенденциям развития техники, после достижения наиболее оптимальных характеристик, приходит этап уменьшения размеров устройства – миниатюризации.

Скачок в процессе миниатюризации ДПТ совершил немецкий ученый д-р. Фриц Фаульхабер-старший, который в 1958 году зарегистрировал в Германии «маленький электродвигатель» по патенту DE1188709. Основанная им группа «FAULHABER GROUP» и на сегодняшний день продолжает совершенствовать технологии по созданию миниатюрных двигателей.

Секрет эффективности ДПТ фирмы FAULHABER обусловлен использованием вместо привычной конструкции с железным сердечником, ротора в виде независимой медной катушки с кривой намоткой. Такая технология обеспечивает сверхмалую инерцию ротора и нулевой момент от зубцовых гармонических помех электромагнитного поля, благодаря чему достигается непревзойденное соотношение мощности к габаритам мотора, а также высокие динамические характеристики [3].

Компания FAULHABER предоставляет большой выбор двигателей. На рис. 1 представлена стандартный ДПТ семейства SR, состоящий из: 1 – заглушки; 2 – клеммы; 3 – щеточно-коллекторного узла с крышкой; 4 – коммутатора; 5 – обмотки; 6 – вала; 7 – корпуса; 8 – магнита со встроенным подшипником и стопорным кольцом.

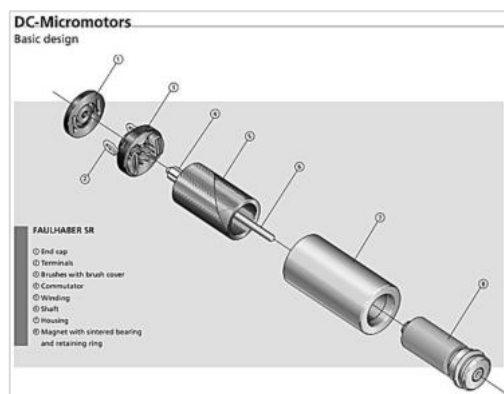


Рис. 1. ДПТ семейства SR

Для миниатюризации исполнительных механизмов зачастую объединяют двигатель с редуктором, такое устройство носит название мотор-редуктор. Компания FAULHABER предлагает интересную серию «FAULHABER SR-Flate», особенностью которой является плоская форма конструкции. Такой тип конструкции идеально подходит для создания мотор-редуктора. На рис. 2 показана базовая конструкция мотор-редуктора «FAULHABER SR-Falt», состоящего из: 1 – заглушки с энкодером; 2 – щеточно-коллекторного узла с встроенным подшипником; 3 – об-

мотки и коллектора; 4 – корпуса со встроенным редуктором и подшипником; 5 – промежуточной плиты с подшипником; 6 – вала; 7 – передней крышки с подшипником.

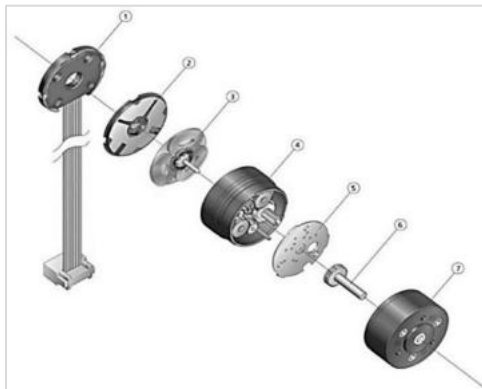


Рис. 2. Базовая конструкция FAULHABER SR-Flat

ДПТ широко применяются в системах с постоянным напряжением, когда необходима простота управления и легкий запуск. Также удобно применять их в системах, когда двигатель может работать в генераторном режиме для рекуперации энергии. Основное ограничение в применении данного типа двигателя заключается в щеточно-коллекторном узле, так как графитовые щетки периодически стираются, для их замены система должна быть ремонтпригодной.

Бесконтактный двигатель постоянного тока (БДПТ). С середины 70-х годов XX века, в следствие развития преобразователей частот, начались исследования двигателей с электронной коммутацией – БДПТ. В дополнение к электронной бесконтактной коммутации и низкому износу этот тип привода имеет следующие преимущества [4]:

- пониженный момент инерции ротора;
- простоту охлаждения;
- повышенный КПД.

Данные преимущества позволили сделать следующий шаг в процессе миниатюризации, так как бесколлекторные двигатели при примерно равных массогабаритных характеристиках с обычными ДПТ, обладают лучшими динамическими характеристиками.

В области изготовления миниатюрных БДПТ компания FAULHABER так же является одной из лидирующих на мировом рынке. Поставщик предлагает несколько типов бесщеточных двигателей, каждый из которых имеет свои достоинства и области применения.

Основным достоинством всех двигателей группы FAULHABER, как и ДПТ, так и БДПТ, является использование особого типа обмотки ротора. Данная технология позволяет производить миниатюрные двигатели, диаметром порядка 3 мм.

Вторым серьезным шагом в миниатюризации БДПТ стала разработка четырехполюсного серводвигателя. Главное отличие данного двигателя – использование ротора на базе четырехполюсного магнита, в отличие от обычно используемого биполярного магнита. Использование данной технологии позволило добиться гораздо большего значения крутящего момента, при прежних массогабаритных параметрах. На рис. 3 для сравнения представлена конструкция двигателей с биполярным магнитом на роторе (слева), и с четырехполюсным магнитом (справа) [5].

БДПТ обладает теми же преимуществами, что и двигатель постоянного тока, но лишен главного его недостатка – коллектора. Поэтому такой тип двигателя применяется в системах, где необходимы высокие требования к сроку службы. Так же БДПТ используются в системах, где требуются высокие скорости. Ограничением является необходимость использования специального электронного коммутатора – драйвера.

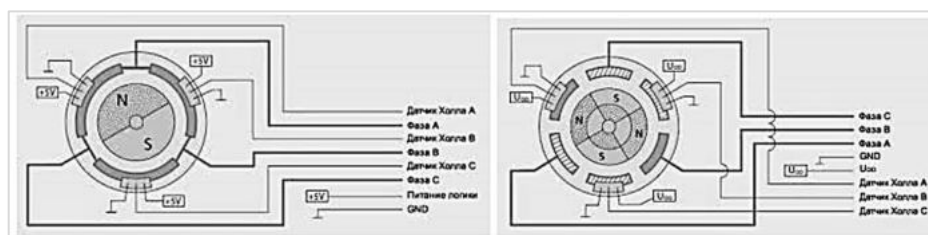


Рис. 3. Конструкция БДПТ с ротором на биполярных и четырехполюсных магнитах

Пьезодвигатель. Одним из первых двигателей, не имеющих принципиальных ограничений по миниатюризации, стал пьезодвигатель. Пьезоэлектрическим двигателем называется электрический двигатель, в котором механическое перемещение рабочего органа осуществляется за счёт пьезоэлектрического или пьезомагнитного эффекта [6].

Прямой пьезоэффект заключается в возникновении электрического заряда на кристалле при его деформации под внешним давлением, причем возникающий заряд пропорционален внешнему давлению. Данный эффект впервые был представлен в статье Жака и Пьера Кюри в 1880 г. Через год после этого был подтвержден обратный пьезоэффект, а именно, что такое вещество, расположенное между двумя электродами, реагирует на приложенное к нему электрическое напряжение изменением своей формы. Первый эффект в настоящее время используется для измерений, а второй – для возбуждения механических давлений, деформаций и колебаний [7].

Пристальное внимание, уделяемое пьезоэлементам, обусловлено рядом достоинств [8]:

- высокой надежностью;
- малыми массогабаритными показателями;
- высокой радиационной стойкостью;
- стойкостью к действию различных агрессивных сред;
- высокой термостойкостью;
- возможностью использования пьезодвигателя без дополнительных кинематических связей с объектом измерения;
- диэлектрической природой пьезоэлемента.

Также особенностью пьезодвигателей является возможность получения линейного перемещения без использования редуктора. Вследствие чего, использование пьезоэлектрических исполнительных механизмов в системах, требующих линейного перемещения, не требует наличия преобразователя движения из вращательного в поступательное, как при использовании классических электрических машин. Такая особенность объясняется конструкцией пьезодвигателей.

В настоящее время конструкций двигателей с использованием пьезоэлементов огромное множество, но все они имеют похожую структуру. Как правило, устройство содержит основание, на котором закреплена пьезоэлектрическая трубка. Трубка имеет электроды на внешней и внутренней поверхностях, а на конце трубки укреплен разрезная пружина, представляющая собой цилиндр с отдельными пружинящими лепестками. В пружине установлен держатель объекта. Для перемещения держателя объекта к электродам пьезотрубки прикладывают импульсное напряжение. После чего, трубка плавно удлиняется или сжимается в зависимости от полярности напряжения и ее конец вместе с пружиной и держателем объекта смещается на некоторое расстояние [9].

Для наглядности происходящих процессов на рис. 4 пошагово показан процесс перемещения у пьезодвигателя серии NEXLINE фирмы EUROTEK GENERAL. Линейные пьезоэлементы закрепляются на основании, на которое действует сила преднагрузки. Сдвиговые пьезоэлементы контактируют с подвижной частью, перемещая её в двух направлениях [10].

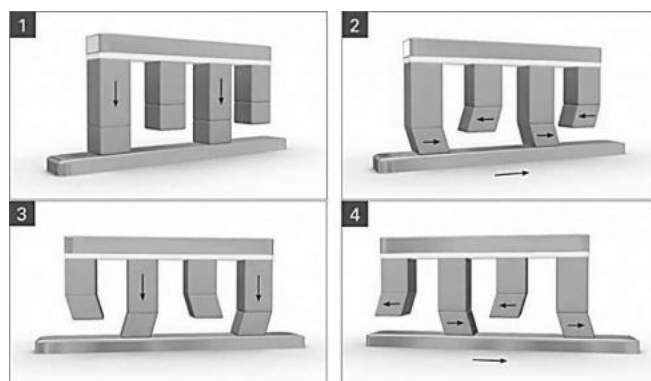


Рис. 4. Пошаговая схема перемещения пьезодвигателя

Рассмотренные пьезодвигатели объединяют в сборки, называемые активными модулями, на базе которых строятся линейные пьезоактуаторы, принципиальная схема которых представлена на рис. 5.

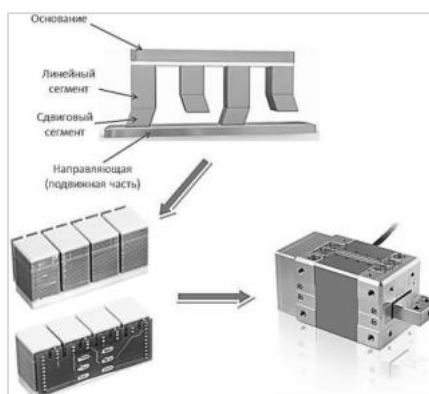


Рис. 5. Принципиальная схема пьезоэлектрического двигателя серии NEXLINE (сверху), собранный активный модуль пьезодвигателя (слева), линейный пьезоактуатор (справа)

Пьезодвигатели применяются в системах, где требуется компактность, широкий диапазон регулирования частоты вращения, возможности малых перемещений, и минимальный люфт. Также данные привода незаменимы в миниатюрных системах, требуемых линейного перемещения.

Искусственные мышцы. Ещё в прошлом столетии ученые, вдохновленные человеческими мышцами, начали разработку принципиально нового типа исполнительных механизмов – искусственных мышц. Создание механизмов со структурой схожей с мышцами, позволит совершить ещё один скачок в процессе микроминиатюризации.

Этот тип механизмов обладает следующими достоинствами:

- составная структура;
- линейное перемещение;
- быстродействие;
- удельная мощность.

На данный момент в мире нет технологии, по которой могли бы запустить массовое изготовление искусственных мышц для всеобщего пользования, для решения этой задачи просматривались множество путей. Можно, например, использовать пьезоэффект: изменение

размеров кристалла или керамики при наложении электрического напряжения. Можно «играть» на способности слоистых веществ расширяться в направлении, перпендикулярном плоскости слоев, при внедрении между слоями химикатов. Можно проектировать их на основе пневматики, под управлением потока газа. Рассмотрим пару перспективных вариантов.

1. *Искусственные мышцы на основе сверхвысокомолекулярного полиэтилена (СВМПЭ).* СВМПЭ обладает ярко выраженным эффектом памяти формы. Другими словами, СВМПЭ может быть деформирован на несколько сотен % и при дальнейшем нагревании он полностью возвращается в исходную форму. При восстановлении исходной формы, СВМПЭ развивает очень высокие реактивные напряжения. На рис. 6 представлена зависимость реактивных напряжений от температуры искусственных мышц, разработанных компанией «Биомиметикс» [11].

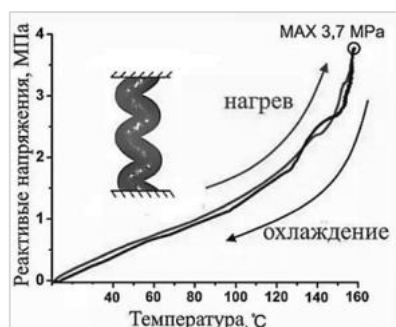


Рис. 6. Развитие напряжений в искусственных мышцах при нагревании/охлаждении

2. *Искусственные мышцы из углеродистых нанотрубок.* Группа разработчиков под началом австрийского ученого Рэя Баухмана использовали иную технологию, они изготавливали листы нанобумаги, из переплетенных между собой нанотрубок. При нахождение такой бумага в соленом растворе, для обеспечения проводимости, и подачи на её концы разности потенциалов нанотрубки изменяют длину. Комбинируя такие листы нанобумаги и управляя ими можно получать различные виды перемещения, для создания нестандартных исполнительных механизмов. Или объединять нанобумагу в одну большую связку создавая мощную искусственную мышцу [12].

Естественно, основной областью применения искусственных мышц являются антропоморфные роботы. В перспективе, данный тип исполнительного механизма займет лидирующее место в системах, требующих линейных перемещений, так как теоретически является лучшим из имеющихся в этой сфере механизмов.

Привода на базе микроэлектромеханической (МЭМС) технологии. Самой современной технологией в области микроминиатюризации как исполнительных механизмов, так и других систем, на данный момент является МЭМС технология.

Принято считать, что история развития МЭМС началась в 1954 году, когда был открыт пьезорезистивный эффект, на основе которого впоследствии были созданы первые датчики давления и ускорения.

Миниатюрная МЭМС структура производится методом физической модификации кремния (или другого материала подложки). Затем такие структуры объединяются с микросхемой и вся электромеханическая система корпусируется, представляя собой единое устройство [13].

С помощью МЭМС технологий удается создать наносистемы на основе парового микродвигателя и исполнительных элементов – поршней. Жидкость внутри рабочей камеры нагревается электрическим током и испаряясь приводит в движение поршни. При прекращении протекания тока происходит охлаждение, и в следствии капиллярного эффекта, поршни втягиваются. На рис. 7 представлены механизмы таких МЭМС систем.

В состав библиотек стандартных элементов кремниевых МЭМС включены также микро-двигатели различных типов, например, гребенчатые, представленные на рис. 8 или зубчатые микро-двигатели (рис. 9). Также создается множество различных вспомогательных устройств вроде фиксаторов или рычагов. На рис. 10 изображен внешний вид микро-рычага с иллюстрацией принципа его действия.

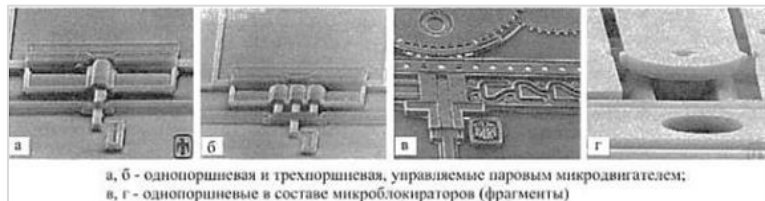


Рис. 7. Конструкции и механизмы МЭМС на основе микропоршней

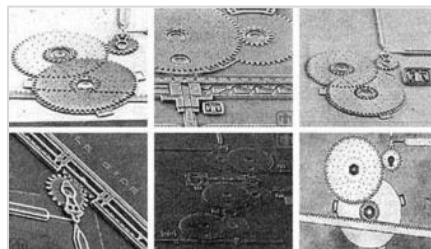


Рис. 8. Типовые конструкции механизмов гребенчатых микро-двигателей МЭМС и устройства на их основе

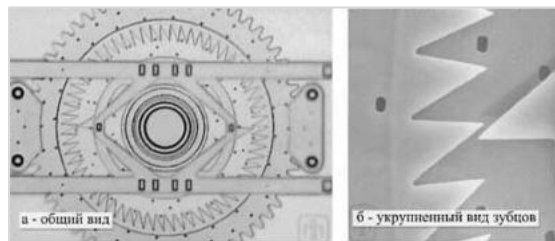


Рис. 9. Конструкция зубчатого микро-двигателя МЭМС



Рис. 10. Внешний вид микро-рычага и иллюстрация принципа его действия

Данная технология предоставляет возможность внедрения в микроэлектронные системы соразмерные им механические конструкции, благодаря чему, создается система, объединяющая достоинства механических и электрических систем в одном миниатюрном корпусе.

Библиографический список

1. *Иванов А. В., Юревич Е. И.* Мини- и микроробототехника: Учебное пособие. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2011. 96 с.
2. ГОСТ 14691-69 Устройства исполнительные для систем автоматического регулирования. Термины. М.: Издательство стандартов, 1987. 26 с.
3. Больше 1500 циклов в автоклаве для мотора FAULHABER [Электронный ресурс] // Журнал «ИСУП». URL: <https://isup.ru/articles/52/14944/> (дата обращения 07.03.2021).
4. Электропривод и развитие техники // Докл. науч.-метод. семинара. Н 346 М.: Издательский дом МЭИ, 2012. 88 с.
5. Четырехполюсные бесколлекторные двигатели и серводвигатели // Промышленный интернет-портал Мирпром. [Электронный ресурс]. URL: <http://mirprom.ru/public/chetirypolyusnye-beskollektornye-dvigateli-i-servodvigateli.html> (дата обращения 07.03.2021).
6. *Лавриненко В. В., Карташев И. А., Вишневецкий В. С.* Пьезоэлектрические двигатели. М.: Изд. Энергия, 1980. 112 с.
7. Пьезоэлектрический эффект [Электронный ресурс] // Инженерные решения. URL: <http://engineering-solutions.ru/ultrasound/piezomaterials/#piezoceramic> (дата обращения 10.03.2021).
8. *Бобцов А. А., Бойков В. И., Быстров С. В., Григорьев В. В.* Исполнительные устройства и системы для микроперемещений. СПб ГУ ИТМО, 2011. 131 с.
9. Нанотехнологии. Азбука для всех / под ред. Ю.Д. Третьякова. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008. 368 с.
10. Принцип работы и особенности пьезоэлектрических двигателей серии NEXLINE // General Eurotek. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.eurotek-general.ru/support/technical-information-about-the-products/%D0%9F%D1%8C%D0%B5%D0%B7%D0%BE%D1%8D%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B5%20%D0%B4%D0%B2%D0%B8%D0%B3%D0%B0%D1%82%D0%B5%D0%B%D0%B8/> (дата обращения 15.03.2021).
11. Искусственные мышцы на основе СВМПЭ. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.biomimetix.ru/iskusstvennye-myshcy-1> (дата обращения 15.03.2021).
12. *Булатов А. П.* Искусственные мышцы в бионике и робототехнике // Молодежь и современные информационные технологии: сборник трудов XIV Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, г. Томск, 7–11 ноября 2016 г.: в 2 т. Т. 1. Томск: Изд-во ТПУ, 2016. С. 280 – 282.
13. Основы MEMS технологии. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.sensorica.ru/news/MEMS.shtml> (дата обращения: 18.03.2021).

УДК 004: 622.692

КИБЕРФИЗИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО МОНИТОРИНГА ДЕФЕКТОВ МАГИСТРАЛЬНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ

А. И. Евстюгин, И. Ю. Гатчин

Университет ИТМО

Введение. При бесперебойной и безопасной транспортировке продуктов по газовым трубопроводам, появляется вопрос в обеспечении безопасности этих магистралей, так как при долговременной эксплуатации, происходит износ, который может привести к аварийным ситуациям и повлечь за собой различные необратимые последствия. Как правило, большинство

дефектов на трубопроводах появляются в результате коррозионных и механических повреждений, определение места и характера которых связаны с рядом трудностей и большими материальными затратами. При этом неразрушающий контроль внутритрубной диагностики является предпочтительным, так как при его использовании не нарушается технологический цикл транспортировки продуктов и повышается эксплуатационная надежность этих магистралей. Не стоит забывать и то, что эти методы способствуют качественной ВТД там, куда не может добраться человек [1, 2].

Постановка задачи. Внутритрубная диагностика (ВТД) – это, согласно основному принятому определению, часть комплекса методов неразрушающего контроля, позволяющая выявлять внутренние дефекты трубопроводов с помощью технического диагностирования. Основными задачами такой диагностики являются нахождение дефектов в металле трубопровода, дефектов сварных швов, дефектов геометрии трубопровода, распознавание типа дефектов, определение их размеров и положения на трубопроводе. Одними из проблем внутритрубной диагностики, являются необходимое присутствие специалиста во время диагностики, его интерпретация результатов и скорость принятия административных решений. Для выполнения комплекса описанных выше задач разрабатывается киберфизическая система, которая для выполнения возложенных на нее функций должна соответствовать достаточно жестким требованиям. Необходимо отметить, что КФС, предназначенная для эксплуатации внутри систем газопровода, должна соответствовать нормам и требованиям, утвержденным законодательно, предъявляемым к обеспечению взрывозащиты.

Структура КФС. Одна из основных частей КФС – это телевизионная система, которая состоит из светодиодного осветителя, его задача – формирование равномерной освещенности стенки трубы, блока самих ТВ-камер – для осуществления визуального контроля, не только за состоянием трубопровода, но и состоянием самой КФС. Также в этот блок входит акселерометр для идентификации угла наклона газопровода и блок лазерных зондов, необходимых для профилометрии и осуществления функций дальномера. При передвижении робота, входящего в состав КФС, по определённым участкам трубопроводных коммуникаций, ТВ-камеры передают непрерывный видеосигнал, четко отражающийся в виде качественного изображения, таким образом, позволяя обнаружить специализированной программе механические дефекты, трещины, пробои, нарушения сварных соединений, приводящие к утечке, а также участки с большими нарастаниями различных отложений или засорами [3].

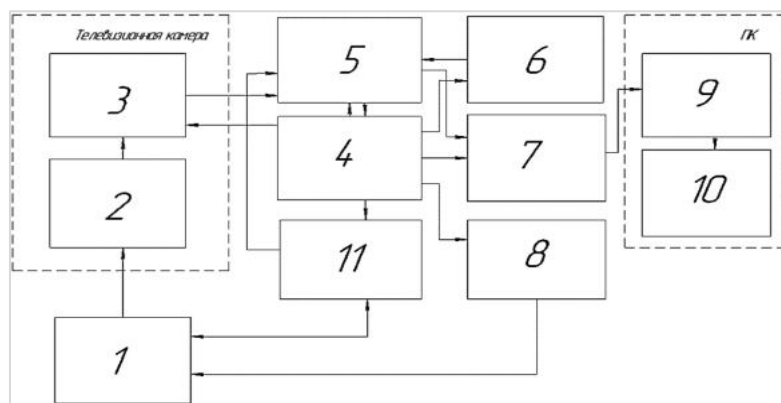


Рис. 1. Структурная схема телевизионной системы, входящей в состав КФС для оценки технического состояния внутренней поверхности трубы:

1 – объект (стенка трубы), 2 – объектив, 3 – ПЗС-матрица, 4 – блок драйверов, 5 – блок преобразования сигналов, 6 – узел ротации, 7,9 – узел радиопередачи, 8 – осветитель, 10 – программное обеспечение (ПО), 11 – лазерный модуль

Входящая в состав телевизионной системы камера предназначена для формирования цветного изображения объекта контроля, пригодного для выявления дефектов поверхности и измерения их размеров, и выполняет следующие функции: преобразование оптического изображения объекта контроля в видеосигнал для его передачи по каналу связи в блок преобразования сигналов; формирование и передача в блок преобразования сигналов информации от датчиков о положении механизмов масштаба.

Объектив предназначен для формирования изображения объекта контроля на чувствительную площадку приемника излучения – ПЗС-матрицу, которая в свою очередь преобразует оптический сигнал в электрический, поступающий в блок обработки и преобразования сигналов.

Блок обработки и преобразования сигналов предназначен для приема, преобразования и обработки аналоговых сигналов, разовых команд и сигналов последовательного кода и формирования выходных информационных потоков для последующей обработки, визуализации, регистрации и документирования. Узел ротации отвечает за определение местоположения сканера. Входящие в данный узел акселерометр и гироскоп используются для определения углов наклона. Через блок драйверов идут команды управления на привод наведения камеры, который позволяет менять угол наклона камеры в вертикальной плоскости. Лазерный модуль в составе профилометра позволяет, во-первых, измерять такие размеры дефектов, как глубина или высота, а во-вторых, оценивать отклонение формы сечения трубы от идеальной окружности.

ПК получает необработанные результаты ВТД через модуль радиопередачи, с помощью ПО, происходит формирование результатов диагностики. Под программным обеспечением подразумевается совокупность программ необходимых для обработки результатов видео диагностики и лазерных измерений. Видеоданные проверяются на наличие определённых условий. Например, обнаружение внутритрубной трещины. Обнаружение, основанное на относительно простых и быстрых вычислениях, используется для нахождения участков, подходящих под условия трещины, в распознаваемых изображениях внутренней стенки трубы, которые затем анализируются с помощью приемов, более требовательных к ресурсам ПК, для получения корректной интерпретации. Это сделано для ускорения формирования отчета по результатам диагностики, который уже просматривает специалист.

Расчет телевизионной камеры. С целью обеспечения КФС качественной системой технического зрения проведем расчеты для выбора матрицы ТВ-камеры и осветителя, удовлетворяющего требованиям по распознаванию вида дефекта обследуемого участка трубы и оценке его размеров.

Расположение элементов телевизионной камеры для распознавания дефектов внутренней поверхности трубы показано на рис. 2.

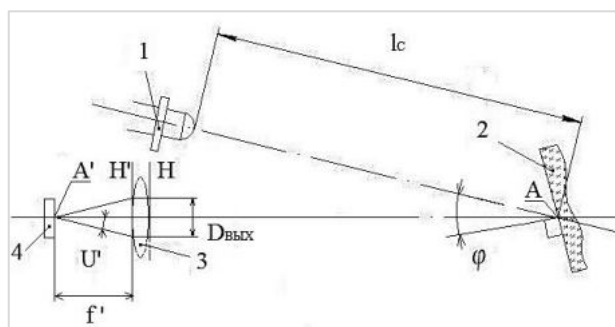


Рис. 2. Расположение элементов телевизионной камеры для распознавания дефектов внутренней поверхности трубы:

1 – светодиод, 2 – фрагмент внутренней поверхности трубы, 3 – объектив, 4 – матричный фотоприёмник

Светодиод 1 освещает фрагмент внутренней поверхности трубы 2. В точке А внутренней поверхности трубы находится дефект, который требуется проанализировать (идентифицировать и оценить размеры). Поэтому объектив 3 телевизионной системы строит изображение точки А в центре матричного фотоприёмника 4. В данном случае для проверки возможности использования выбранных светодиода и матрицы в первую очередь необходимо вывести формулы для расчёта уровня сигнала и шума матричного фотоприёмника и провести расчёты.

Энергетическая освещённость E_A в точке А внутренней поверхности трубы, которую создаёт светодиод, определяется следующим соотношением [6, с. 248]:

$$E_A = \frac{I_c}{l^2} \cos\varphi, \left[\frac{\text{Вт}}{\text{см}^2} \right]. \quad (1)$$

Здесь I_c [Вт/стер] – сила излучения светодиода в направлении оси его корпуса. Отражение внутренней поверхности трубы считаем диффузным с коэффициентом отражения $\rho = \text{const}$. При этом площадку, освещаемую излучением светодиода, можно считать вторичным Ламбертовым излучателем ([1], с. 246) с яркостью:

$$L_A = \frac{\rho}{\pi} E_A, \left[\frac{\text{Вт}}{\text{см}^2 \text{стер}} \right]. \quad (2)$$

Для расчёта по формуле (1) нужно знать, в частности, энергетическую интегральную силу излучения светодиода I_c в осевом направлении.

Освещённость фотоприёмной матрицы $E_{A'}$ в точке A' , являющейся изображением точки А фрагмента внутренней поверхности трубы, описывается следующей формулой ([6], с. 251):

$$E_{A'} = \tau_{об} \cdot \pi \cdot \sin^2 U' \cdot L_A \quad (3)$$

Здесь $\tau_{об}$ – пропускание объектива; U' – задний апертурный угол объектива, связанный с его светосилой, $tg U' = \frac{D_{вых}}{2f'}$, L_A – энергетическая яркость лучей, исходящих от освещённого фрагмента внутренней поверхности трубы, которую следует рассчитывать по формуле (2).

Сигнал матричного фотоприёмника, исчисляемый количеством сигнальных электронов n , образующихся в пикселе матрицы, определяется энергией излучения Q , воздействующего на пиксел за время накопления t_n . Эта энергия распределена по длинам волн. Её малая часть $dQ(\lambda, d\lambda)$ на длине волны λ , в спектральном интервале $d\lambda$ составляет:

$$dQ(\lambda, d\lambda) = B_{п} \cdot t_n \cdot E_{\lambda A'}(\lambda) d\lambda, \quad (4)$$

где $B_{п}$ – площадь пиксела, t_n – время накопления, $E_{\lambda A'}(\lambda) d\lambda$ – спектральная плотность энергетической освещённости пиксела.

Малая энергия $dQ(\lambda, d\lambda)$ переносится фотонами в количестве $dn_{\phi}(\lambda, d\lambda)$ равном:

$$dn_{\phi}(\lambda, d\lambda) = \frac{dQ(\lambda, d\lambda)}{Q_{\phi}(\lambda)}, \quad (5)$$

где $Q_{\phi}(\lambda) = \frac{h}{c} \cdot \lambda$ – энергия одного фотона с длиной волны λ ; $h = 6.626176 \cdot 10^{-34} \frac{\text{Дж}}{\text{Гц}}$ – постоянная Планка; $c = 2.99792458 \cdot 10^8 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ – скорость света в вакууме.

Часть фотонов, попавших на пиксел, будет поглощена фоточувствительным слоем с образованием сигнальных электронов, создающих сигнал матрицы.

Число этих сигнальных электронов $dn(\lambda, d\lambda)$, соответствующее длине волны λ и спектральному интервалу $d\lambda$, можно определить, используя понятие квантовой эффективности матрицы $K_{\text{эфф}}(\lambda)$.

$$dn(\lambda, d\lambda) = K_{\text{эфф}}(\lambda) \cdot dn_{\phi}(\lambda, d\lambda). \quad (6)$$

Отсюда следует, что квантовая эффективность является безразмерной величиной меньше единицы и представляет собой долю числа фотонов, “породивших” сигнальные электроны от общего числа фотонов, попавших на пиксел в узком спектральном интервале.

Подставляя (5) в (6), получим:

$$dn(\lambda, d\lambda) = \frac{K_{\text{эфф}}}{Q_{\phi}(\lambda)} \cdot dQ(\lambda, d\lambda). \quad (7)$$

Введем обозначение:

$$S(\lambda) = \frac{K_{\text{эфф}}(\lambda) \cdot \lambda}{Q_{\text{ф}}(\lambda)} [\text{Дж}^{-1}] \quad (8)$$

Величину $S(\lambda)$ называют спектральной чувствительностью фото-приемной матрицы. Используя обозначение (8), из (7) имеем:

$$S(\lambda) = \frac{dn(\lambda, d\lambda)}{dQ(\lambda, d\lambda)}$$

Отсюда следует, что спектральная чувствительность матрицы $S(\lambda)$ равна числу сигнальных электронов, возникающих в одном пикселе матрицы при попадании на него монохроматического излучения с энергией в 1 Дж.

Число сигнальных электронов n , возникающих в пикселе за время накопления $t_{\text{н}}$ под воздействием оптического излучения, создающего освещенность данного пиксела со спектральным распределением $E_{\lambda A'}(\lambda)$, получим, интегрируя (7) по λ с использованием (4):

$$n = V_{\text{п}} t_{\text{н}} \int_{\lambda_{\text{м}}}^{\lambda_{\text{б}}} S(\lambda) E_{\lambda A'}(\lambda) d\lambda. \quad (9)$$

Ранее была получена формула (3), позволяющая рассчитать освещенность $E_{A'}$ матрицы. Подставляя (1) в (2) и (2) в (3), получим формулу, связывающую $E_{A'}$ с силой излучения $I_{\text{с}}$ светодиода, освещающего фрагмент внутренней поверхности трубы:

$$E_{A'} = \tau_{\text{об}} \frac{\rho \cos \varphi}{l_{\text{с}}^2} \sin^2 U' I_{\text{с}} \quad (10)$$

Отсюда можно заключить, что при неселективном характере отражения от внутренней поверхности трубы и пропускания объектива в пределах рабочего спектрального интервала ($\lambda_{\text{м}}, \lambda_{\text{б}}$, когда произведение $\tau_{\text{об}} \rho$ не зависит от длины волны, будет справедливо следующее равенство:

$$E_{\lambda A'} = I_{\text{с}}(\lambda),$$

где $I_{\text{с}} = \frac{I_{\text{с}}(\lambda)}{I_{\text{с}}^{\text{макс}}}$ – относительная спектральная плотность силы излучения светодиода;

$E_{\lambda A'} = \frac{E_{\lambda A'}(\lambda)}{E_{\lambda A' M}}$ – относительная спектральная плотность энергетической освещенности пиксела. Дифференцируя обе части равенства (10) по длине волны имеем:

$$E_{\lambda A'}(\lambda) = K_{A' C} I_{\text{с}}^{\text{макс}} I_{\text{с}}(\lambda), \quad (11)$$

где $K_{A' C} = \frac{1}{l_{\text{с}}^2} \tau_{\text{об}} \rho \cos \varphi \sin^2 U'$

Из (10) следует, что:

$$E'_{\lambda A' M} = K_{A' C} I_{\text{с}}^{\text{макс}}$$

В результате (9) приобретает следующий вид:

$$n = V_{\text{п}} t_{\text{н}} S_{\text{м}} E_{A'} K_{\text{исп}}^{\text{с}}, \quad (12)$$

где $S_{\text{м}}$ – максимальная спектральная чувствительность фотоприёмной матрицы, $K_{\text{исп}}^{\text{с}}$ – коэффициент использования излучения светодиода фото-приёмной матрицей:

$$K_{\text{исп}}^{\text{с}} = \int_{\lambda_{\text{м}}}^{\lambda_{\text{б}}} S(\lambda) I_{\text{с}}(\lambda) d\lambda / \int_{\lambda_{\text{м}}}^{\lambda_{\text{б}}} I_{\text{с}}(\lambda) d\lambda.$$

Подставляя (10) в (12) с использованием обозначения в (11), получим окончательную формулу для расчета сигнала матрицы:

$$n = V_{\text{п}} t_{\text{н}} S_{\text{м}} K_{A' C} K_{\text{исп}}^{\text{с}} I_{\text{с}} \quad (13)$$

где $V_{\text{п}}$ – площадь пиксела; $t_{\text{н}}$ – время накопления; $S_{\text{м}}$ – максимальная спектральная чувствительность фотоприёмной матрицы;

$$K_{A' C} = \frac{1}{l_{\text{с}}^2} \tau_{\text{об}} \rho \cos \varphi \sin^2 U'$$

Уровень шума матричного фотоприёмника рассчитаем по следующей формуле:

$$N_{\text{ш}} = \sqrt{N_{\text{ф}}^2 + N_{\text{п}}^2}, \quad (14)$$

где $N_{\text{ш}}$ – суммарное значение среднеквадратического отклонения (СКО) числа электронов, вырабатываемых пикселем для сигнальной цепи матричного фотоприёмника, то есть суммарного

шума; N_{Φ} – СКО числа сигнальных электронов обусловленное фотонным шумом; $N_{П}$ – паспортное значение СКО шума матричного фотоприёмника в отсутствие оптического сигнала.

Фотонный шум является следствием дискретной природы света и подчиняется закону распределения Пуассона, согласно которому фотонный шум равен корню квадратному из числа сигнальных электронов $N_{\Phi} = \sqrt{n}$.

Паспортные характеристики светодиода и матрицы

Светодиод ARL-3214 [4]

UVC-12 В,
материал InGaN, белый
Сила света – 18000 ÷ 20000 мКд
Спектр – 6000 ÷ 70000 К
 $I_{\Phi} = 20$ мА
Прямое падение напряжения $U_F = 11 \div 14$ В

ПЗС - матрица SONY ICX674 [5]

СКО шума $N_{\text{пасп}}$, электронов = 40 при частоте кадров 30 Гц,
 $S_{\text{max}} = 1.23 \cdot 10^{18}$ мДж⁻¹ ($\lambda_m = 0.580$ мкм)
Коэффициент использования излучения светодиода глазом – 0.512
Коэффициент использования излучения светодиода матрицей – $K_{A'C} = 0,904132833$

Расчет отношения сигнал/шум матрицы W

Интегральная сила излучения светодиода:

$$I_c = \frac{1}{683 \cdot 0.512} \cdot 18 = 0.0515 \frac{\text{Вт}}{\text{стер}}$$

Коэффициент $K_{A'C}$ при $l_c = 0.5$ м; $\tau_{об} = 0.9$; $\rho = 0.1$; $\varphi = 45^\circ$, $U' = 9.6^\circ$, $\sin U' = 0.17$

$$K_{A'C} = \frac{1}{0.25} \cdot 0.9 \cdot 0.1 \cdot 0.707 \cdot 0.717^2 = 0.00736 \left[\frac{1}{\text{м}^2} \right]$$

Расчет сигнала “n” (12)

$$n = (12.8)^2 \cdot 10^{-12} \cdot 0.033 \cdot 1.23 \cdot 10^{18} \cdot 0.00736 \cdot 0.904 \cdot 0.0515 = 22.6 \cdot 10^2,$$

С учетом паспортного и фотонного шума матрицы $N_{ш} = 62$ эл. (14)

$$W = 2260/62 = 37.3 \text{ [с/шум]}$$

$N_{\Phi} = 37$ и требуемая минимальная освещенность стенки трубы может быть создана осветителем с одним белым светодиодами $E_A = 42$ лкс.

Таблица 1
Спектральная характеристика белого светодиода ARL-3214

λ , нм	I_{λ_c} , отн. ед.	λ , нм	I_{λ_c} , отн. ед.
400	0,009409	580	0,910513
410	0,013771	590	0,965936
420	0,026988	600	0,999954
430	0,080512	610	0,994437
440	0,255182	620	0,94469
450	0,593589	630	0,86682
460	0,525326	640	0,770698
470	0,329507	650	0,663274
480	0,225548	660	0,556154
490	0,194458	670	0,427327
500	0,228799	680	0,373212
510	0,325871	690	0,299397
520	0,426515	700	0,235432
530	0,528199	710	0,181418
540	0,624219	720	0,136094
550	0,697114	730	0,10279
560	0,769897	740	0,080759
570	0,842584	750	0,062713

Таблица 2
Спектральная характеристика матрицы SONY ICX674

λ , нм	S_{λ_m} , отн. ед.	λ , нм	S_{λ_m} , отн. ед.
400	0,56	580	1
410	0,59	590	0,99
420	0,64	600	0,99
430	0,69	610	0,98
440	0,74	620	0,97
450	0,78	630	0,96
460	0,81	640	0,95
470	0,83	650	0,93
480	0,85	660	0,91
490	0,87	670	0,89
500	0,9	680	0,87
510	0,91	690	0,85
520	0,94	700	0,83
530	0,97	710	0,8
540	0,98	720	0,77
550	0,99	730	0,73
560	0,99	740	0,69
570	0,99	750	0,64

Вывод. Для обеспечения киберфизической системы качественной системой технического зрения, обеспечивающей получение изображения дефекта для его идентификации, требуется создание осветителя, в состав которого будут включены не менее 4 белых светодиодов при условии использования ТВ-камеры на ПЗС-матрице SONY ICX674.

Библиографический список

1. *Harish, P.* Design and Motion Planning of Indoor Pipeline Inspection Robot / P. Harish, V. Venkateswarlu // International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering (IJITEE) – Volume-3, Issue-7, December 2013. – P. 41–47.
2. Неразрушающий контроль. Методы: [Электронный ресурс] // Все о коррозии. URL: <http://www.okorrozii.com/nerazrushayushchij-kontrol-metody.html> [Дата обращения 07.11.2019].
3. Системы телеинспекции трубопроводов: [Электронный ресурс] // ТАРИС. URL: <http://taris.ru/katalog/teleinspekciya/teleinspekciya-truboprovodov/stt-karat> [Дата обращения 02.12.2019].
4. *Князев М. Г., Бондаренко А. В., Докучаев И. В.* Расчет пороговых значений потока излучения и освещенности для ПЗС матриц Kodak KAI-1003M, Kodak KAI-1020 и Philips FTF3020M // Цифровая обработка сигналов. 2006. № 3. С. 82 – 87.
5. *Мальцева Н. К., Раскин Е. О., Юрьева Р. А.* Особенности конструирования оптико-электронного роботизированного комплекса внутритрубной диагностики трубопровода для обеспечения безопасного информационного обмена // Наука и бизнес: пути развития. 2015. № 4(46). С. 37 – 39.
6. ПЗС-матрица SONY ICX674 [Электронный ресурс]. URL: https://www.1stvision.com/cameras/sensor_specs/icx674alg_aqg.pdf [Дата обращения 25.03.2021]
7. *Мирошников М. М.* Теоретические основы оптико-электронных приборов: учебное пособие для вузов. СПб: Лань, 2010. 697 с.

УДК 621.8-1/9

МЕХАНИЗМЫ С ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ СТРУКТУРОЙ В РЕЖИМЕ ВИБРОЗАЩИТЫ ПРИБОРОВ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

А. В. Йосипенко, Д. Н. Байбосунов

Балтийский государственный технический университет «Военмех» им. Д. Ф. Устинова

Повышение требований к бортовым оптико-электронным и радиоэлектронным приборам космических аппаратов по точности и надежности, смещение показателей точности в микро- и наноразмерный диапазон приводят разработчиков к проблеме эффективного подавления внешних и внутренних вибровозмущений, воздействующих на указанное оборудование. Новые требования к подавлению вибровозмущений и пространственной стабилизации такого оборудования требуют и новых решений в построении современных пассивных и активных систем виброгашения и виброизоляции.

Основными источниками механических возмущений на борту космических аппаратов в космосе являются силовые гироскопы, различные исполнительные электромеханические агрегаты (приводы вращения солнечных батарей и наведения антенн, перекачка жидкости в системе терморегулирования и т.п.).

В местах их установки спектры стационарных вибраций могут находиться в широком частотном диапазоне от единиц Гц до 10 ГГц, амплитуды до 1g.

Для наведения и стабилизации бортовых приборов космической техники всё чаще применяются механизмы с параллельной структурой МПС типа гексапод и (или) трипод [1].

При нормальных механических возмущениях классический МПС с линейными следящими приводами обеспечивает достаточную точность наведения и стабилизацию приборов полезной нагрузки КА. Однако при повышенных и высоких требованиях по точности наведения и стабилизации возникает дополнительная задача защиты бортовых приборов от внешних и собственных механических микро возмущений, возникающих при работе вспомогательного оборудования и полезной нагрузки.

Возникает необходимость введения дополнительных устройств виброзащиты прецизионных приборов полезной нагрузки. Возможно применение пассивных и активных методов виброизоляции приборов.

При этом с учетом низкой частоты собственных колебаний бортовых приборов (антенн, солнечных батарей, оптических телескопов), их значительных масс и широкого диапазона внутренних и внешних механических возмущений пассивная виброзащита является недостаточно эффективной и требуется применение системы активной низкочастотной виброзащиты.

В общем случае возникают две задачи виброзащиты: во-первых, предупреждение воздействия механических возмущений на чувствительные системы путем виброизоляции источников вибровозмущений, во-вторых – решение классической задачи виброгашения, т.е. парирование остаточных колебаний, поступивших на узлы крепления приборов без устранения источников этих колебаний.

Кроме того, системы виброгашения и виброизоляции бортовой аппаратуры космических аппаратов должны иметь минимальные габариты и массу, а также низкое энергопотребление.

Для комплексного решения защиты бортовых приборов от вибраций применяются комбинированные системы активно-пассивной изоляции вибраций, выполняющие одновременно функцию виброизоляции источников вибровозмущений и пассивно-активную пространственную систему виброгашения (парирования) остаточных механических микровозмущений, поступающих на узлы крепления прецизионной аппаратуры. На сегодняшний день в России и за рубежом указанные системы используются в редких случаях и имеют ряд серьезных недостатков, главными из которых являются ограниченный диапазон рабочих частот и высокие массогабаритные показатели.

Для преодоления этих недостатков предлагается применение МПС как системы активной виброзащиты и высокоточного наведения прецизионных приборов полезной нагрузки космического назначения.

В работе рассматриваются основные способы, применяемые для виброзащиты бортовых приборов КА [2].

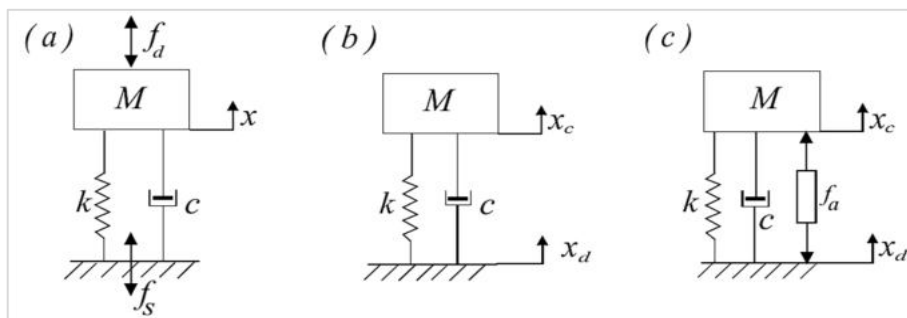


Рис. 1. Способы виброзащиты
 а) Возмущающие силы
 б) Пассивная виброзащита
 в) Активное виброгашение и примеры виброзащиты космической техники

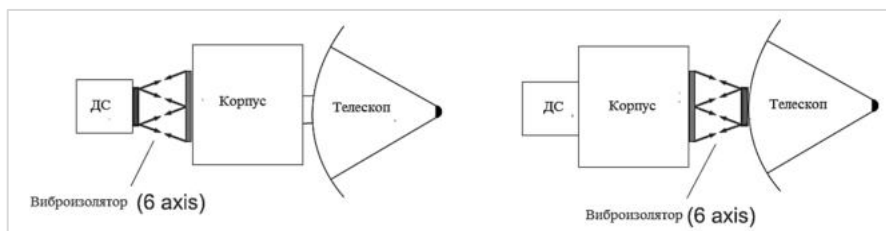


Рис. 2. Шестистепенной виброизолятор в космической технике.

Пример реализации виброгашения на основе платформы Стюарта (гексапод) с упругими шарнирами (рис.3).



Рис. 3. Пример реализации виброгашения

Особенностью и преимуществом применения гексапода в качестве активного виброгасящего устройства является возможность пространственного (по 6 координатам) активного виброгашения нагрузки на платформе в достаточно компактном конструктивном исполнении.

Активное виброгашение реализуется введением в конструкции линейных приводов ног гексапода активных виброгасителей (электромагнитных или пьезоэлектрических).
 В работе рассматривается схема виброзащиты с кинематической обратной связью рис.4.

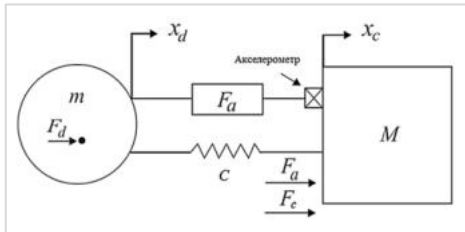


Рис. 4. Схема активного виброгашения с кинематической обратной связью



Рис. 5. Конструкция виброзащитной платформы

Примеры виброгасящих активных компенсаторов (рис. 6, 7).



Рис. 6. Комбинированный линейный привод с пьезокомпенсатором. [3]

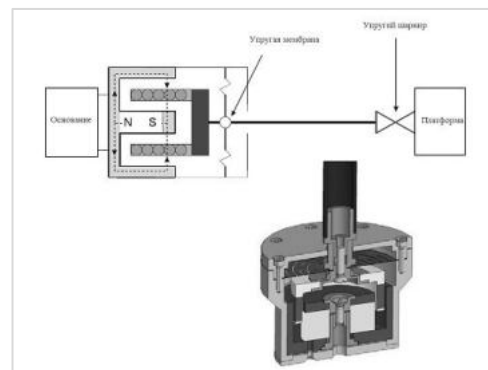


Рис. 7. Нога МПС с электромагнитным компенсатором

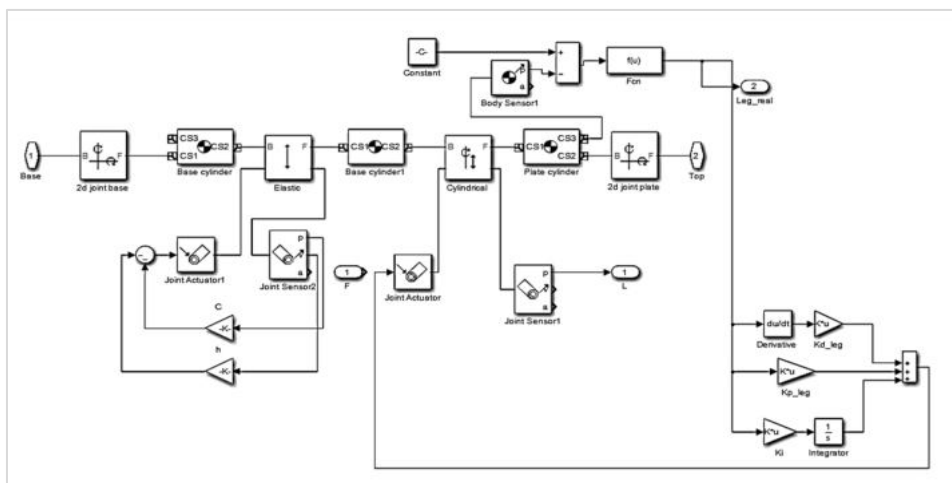


Рис. 8. Модель системы виброгашения МПС [4]

Библиографический список

1. Жуков Ю. А., Коротков Е. Б., Слободзян Н. С. Система управления механизмом с параллельной кинематикой для перемещения бортовых приборов КЛА на базе современного отечественного радиационно стойкого микроконтроллера с процессорным ядром Cortex-M4F // Вопросы радиоэлектроники. 2017. № 7. С. 48 – 53.
2. Морозов И. Д., Естифеев Е. Р., Лысенко А. В., Реута Н. С., Горбалысов М. С. Активные системы подавления вибраций // Теория и практика имитационного моделирования и создания тренажёров: Сб. статей МНПК. Пенза: Изд-во ПГУ, 2016. С. 125 – 132.
3. Лавриенко В. В., Карташев И. А., Вишневицкий В. С. Пьезоэлектрические двигатели. М.: Энергия, 1980. . С. 5 – 15.
4. Бобров Б. Ф., Добрынин С. А., Синев А. В., Соловьев В. С., Чернявский И. Т. Автоматизированная система для экспериментальных исследований низкочастотных вибраций // Методы исследования динамических систем на ЭВМ. М.: Наука, 1984. С. 77 – 92.

УДК 629.3.054.4

ВЫБОР СИСТЕМЫ ОРИЕНТАЦИИ АВТОМОБИЛЯ В ПРОСТРАНСТВЕ ПРИ АВТОНОМНОМ ДВИЖЕНИИ

Е. И. Кедрова

Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д. Ф. Устинова

Для обеспечения автономности автомобиля необходимо использовать систему технического зрения. Для этого в работе выбраны четыре основных прибора, с помощью которых может осуществляться ориентация автомобиля. При разных погодных условиях видимость будет разная, именно поэтому целесообразно пользоваться приборами, области видимости которых пересекаются.

При разработке первых полновесных беспилотных автомобилей (БПА) главным способом восприятия места вокруг машины были видеокамеры.

К плюсам видеокамеры можно отнести высокоточное цветное изображение, позволяющее увидеть даже мелкие детали и низкую, по сравнению с остальными сенсорами стоимость. Минусом является неработоспособность камеры в условиях плохого освещения и в плохих погодных условиях.

Ультразвуковые датчики или, так называемые парктроники, характеризуются относительно небольшой стоимостью и достаточной эффективностью, что непосредственно влияет на их глобальное использование. Работа ультразвукового датчика заключается в следующем: передатчик испускает звуковую волну, которая отражается от препятствия и поступает на приемник, который, в свою очередь, фиксирует полученный сигнал и таким образом измеряется расстояние до препятствия.

Для оценки работы датчиков при различных погодных условиях воспользуемся следующими формулами [1]:

$$A' = A_0 e^{-\delta r} \quad (1)$$

где A' – звуковое давление на расстоянии от источника звука r ; A_0 – начальное звуковое давление; δ – коэффициент затухания.

$$\delta = \left(\frac{\omega^2}{2\rho c^3}\right) \left(\frac{4}{3}\eta + \zeta + \chi\left(\frac{1}{c_v} - \frac{1}{c_p}\right)\right) \quad (2)$$

где δ – коэффициент затухания; ω – частота ультразвуковой волны; ρ – плотность среды; C – скорость распространения звука в среде; η – коэффициент сдвиговой вязкости; ζ – коэффици-

ент объемной вязкости; χ – коэффициент теплопроводности; C_v – теплоемкость при постоянном объеме; C_p – теплоемкость при постоянном давлении.

На рис. 1 представлена зависимость коэффициента затухания от относительной влажности воздуха.

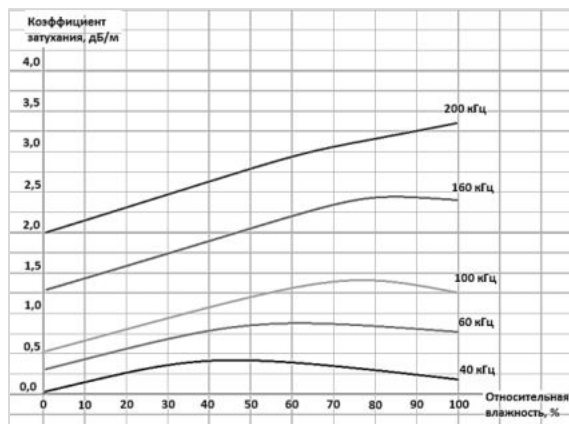


Рис.1. Зависимость коэффициента затухания от относительной влажности

Таким образом, следующие параметры среды влияют на рабочее расстояние датчика:

1. Температура: с ростом температуры, затухание увеличивается и максимальное рабочее расстояние уменьшается;

2. Относительная влажность. В реальности зависимость описывается эмпирически: график для частот 40, 63, 100, 160 и 200 кГц представлен на рис. 1. На разных частотах затухание будет максимальным при разной относительной влажности воздуха.

В рамках рассматриваемой задачи можно сделать вывод, что акустический сенсор будет удобен для использования при измерении небольших расстояний, например, для перестроения из ряда в ряд или для соблюдения дистанции при нахождении в потоке автомобилей.

Существуют устройства, позволяющие получать изображения с отображением интенсивности излучения элементов трехмерных поверхностей и расстояния до них. Эти устройства – дальномеры имеют лазерный излучатель с амплитудной модуляцией. Излучатель посылает лазерный луч, затем принимает отраженный сигнал. Расстояние до отражающей поверхности вычисляется на сравнении фазы излученного и отраженного сигнала. [3][4]

Для оценки максимальной дальности работы лазерного дальномера используем следующую формулу [2]:

$$L_{max} = \sqrt[4]{\frac{W_{лаз} * F_{ц} * D^2 * \tau_{атм} * \tau_0 * \rho_0}{4\pi * \theta_s^2 * W_{пр}}} \quad (3)$$

где $W_{лаз}$ – мощность лазерного излучения; $F_{ц}$ – площадь цели; D^2 – диаметр входного зрачка; $\tau_{атм}$ – коэффициент пропускания атмосферы; τ_0 – коэффициент пропускания оптической системы; ρ_0 – коэффициент диффузного отражения; θ_s – полный угол расходимости; $W_{пр}$ – мощность приемника.

Оценить влияние осадков на работу лазерного дальномера можно при помощи следующих коэффициентов:

Коэффициент интенсивности осадков:

$$J = (0,6 \dots 6) \frac{\text{мм}}{\text{час}} \quad (4)$$

Пропускание атмосферы при осадках:

$$\tau_{атм} = \exp(-2L_{max} * \alpha_{общ}) \quad (5)$$

Коэффициент экстинкции:

$$\alpha_{\text{общ}} = \alpha + \alpha_J \quad (6)$$

Коэффициент рассеяния при осадках:

$$\alpha_J = 0,21 * J^{0,74} \quad (7)$$

Далее построим зависимость максимальной дальности от интенсивности дождя (рис. 2).

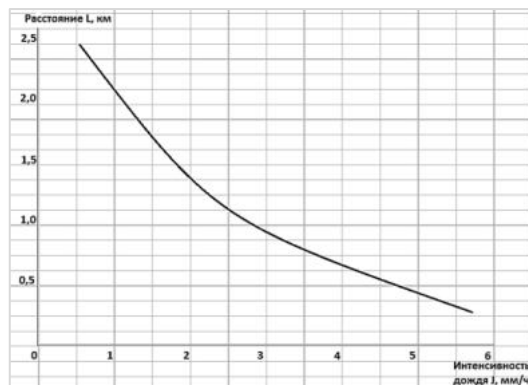


Рис. 2. Зависимость максимальной дальности от интенсивности дождя.

Проанализировав полученный результат, к плюсам данного сенсора можно отнести высокую точность определения формы объекта и расстояния до него. К минусам можно отнести плохую работоспособность в неидеальных погодных условиях и высокую стоимость.

При ограниченной видимости на дороге компенсировать недостатки камеры лидара смогут радары, которые излучают радиоволны с частотой в десятки гигагерц. Радары способны определять расстояние до препятствия и так же скорость, с которой препятствие перемещается. В настоящее время в системах помощи водителю ADAS применяются радары частотой излучения 24 ГГц и 77 ГГц.

Основное уравнение радиолокации [5]:

$$D = \sqrt[4]{\frac{P_{\text{и}} G_{\text{и}} G_{\text{п}} \lambda_{\text{и}}^2 \sigma_{\text{ц}}}{(4\pi)^3 P_{\text{сmin}}}} \quad (8)$$

где $P_{\text{и}}$ – мощность излучаемого сигнала; $G_{\text{и}}$ – коэффициент усиления передающей антенны; $G_{\text{п}}$ – коэффициент усиления принимающей антенны; $\lambda_{\text{и}}$ – длина волны; $\sigma_{\text{ц}}$ – эффективная площадь рассеяния (ЭПР); $P_{\text{сmin}}$ – чувствительность приемника.

Если мы рассматриваем активную РЛС с пассивным ответом, то [3]

$$\Gamma = 2\alpha_3 D \quad (9)$$

где α_3 – коэффициент затухания; D – расстояние, проходимое радиоволнами.

$$P = P_0 e^{-\Gamma} \quad (10)$$

где P – мощность сигнала на расстоянии D ; P_0 – начальная мощность сигнала.

Причиной, вызывающей потери сигнала, является рассеяние радиоволн прежде всего дождевыми каплями и туманом. Рассеяние возрастает пропорционально 4-й степени частоты, поскольку эффективная площадь рассеяния (ЭПР) капли при $2\pi r \ll \lambda$. Ослабление радиоволн в результате града или снега гораздо меньше, чем в результате дождя или тумана, поэтому их влиянием часто пренебрегают [5].

$$\sigma = 4\pi r^2 \left(\frac{2\pi r^2}{\lambda}\right)^4 \left(\frac{\epsilon-1}{\epsilon+2}\right)^2 \quad (11)$$

где r – радиус капли; λ – длина радиоволны; ϵ – диэлектрическая проницаемость воды.

Максимальная дальность действия с учетом затухания:

$$D_{\text{max}} = D e^{-0,5\alpha_3 D_{\text{max}}} \quad (12)$$

Воспользуемся уравнением (12) для графического представления максимальной дальности, полученные зависимости представлены на рис. 3 и 4.

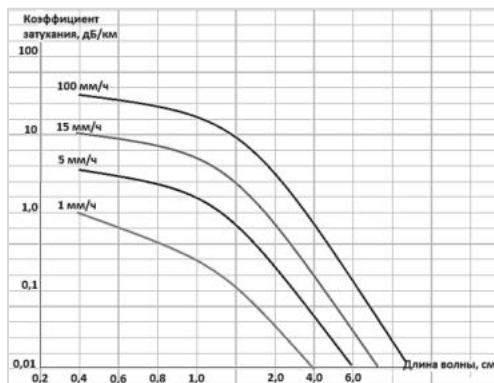


Рис. 3. Зависимость коэффициента затухания от длины волны при различной интенсивности осадков

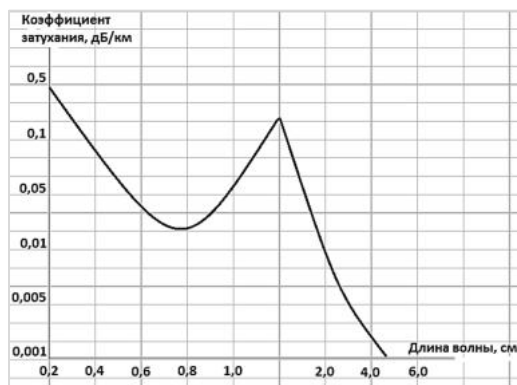


Рис. 4. Зависимость коэффициента затухания от длины волны в водяном паре

Проанализировав полученные результаты, можно сделать вывод, что рационально использовать сантиметровый диапазон длин волн (от 1 см, до 2 см). К плюсам радара можно отнести то, что данный прибор достаточно точно измеряет расстояние до объекта и его скорость, а также менее других сенсоров подвержен влиянию погодных условий. К минусам относится то, что получаемых данных недостаточно для определения типа объекта.

Выводы. В настоящее время основными средствами, которые обеспечивают автономное движение БПА на дороге, являются оптические датчики и лидары. Именно лазерные дальномеры, установленные на автомобиле, в принципе обеспечивают широкий секторный обзор по азимуту, высокую точность измерений координат препятствий и границ дороги, и, тем самым, решают задачу автономной беспилотной навигации. Однако, основным недостатком лидаров, помимо их высокой стоимости, является неработоспособность в сильных гидрометеорах: дождь, снег, туман, пыль и снег, а также чувствительность измерений к механическим вибрациям.

В связи с вышеперечисленными недостатками оптических датчиков, можно сделать вывод, что использование исключительно оптики недостаточно для полноценного и безопасного функционирования ТС. В таком случае является целесообразным использовать РЛС малой дальности. Работа радаров не так значительно зависит от меняющихся погодных условий.

Фирмой Cognitive Technologies был изобретен 4D радар. Данное изобретение выводит РЛС на новый уровень развития. Классические радары, ищущие в данное время в автомобилях вычисляют только расстояние до объекта, и скорость объекта. Изобретенный 4D радар способен достаточно точно определить форму и размер объекта.

Также стоит отметить, что стереокамера тоже обладает возможностью определять скорость, расстояние, форму и размер, однако, в условиях ограниченной видимости камера опять же теряет свою эффективность. Именно поэтому можно сделать вывод, что только комплексное использование датчиков позволит обеспечить необходимый уровень безопасности на дороге.

Решением проблемы ориентации в пространстве является использование различных средств получения информации. Объединение данных со всех источников информации позволит построить точную картину окружающей местности и идентифицировать препятствия.

Библиографический список

1. Поглощение звука/ [Электронный ресурс]. URL: http://www.femto.com.ua/articles/part_2/2919.html – дата обращения 16.03.2020.
2. Лазерные приборы и методы измерения дальности: учебно-методическое пособие / В. Б. Бокшанский, Д. А. Бондаренко, М. В. Вязовых, И. В. Животовский, А. А. Сахаров, В. П. Семенов; под ред. В. Е. Карасика. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2012. 92 с.
3. Борейшо А. С., Коняев М. А. Лидары для дистанционного контроля атмосферы / в сб.: Проблемы военно-прикладной геофизики и контроля состояния природной среды. Материалы VI Всероссийской научной конференции. СПб: 2020. С. 31 – 39.
4. Щукин Г. Г., Борейшо А. С., Ильин М. Ю., Коняев М. А., Жуков В. Ю. Перспективы применения всепогодных лидарно-радиолокационных комплексов // В сб.: Актуальные проблемы радиопизики (АПР 2019). VIII МНПК. 2019. С. 304 – 308.
5. Радиотехнические системы: Учебник для вузов по спец. «Радиотехника» / Ю. П. Гришин, В. П. Ипатов, Ю. М. Казаринов и др.; под. ред. Ю. М. Казаринова. М.: Высшая школа, 1990. 496 с.

УДК 681.5

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ КИНЕМАТИКИ ДЛЯ СЕМИЗВЕННОГО МАНИПУЛЯТОРА

Д. А. Кондрашов

Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д. Ф. Устинова

Введение. В настоящий момент в БГТУ «Военмех» им Д. Ф. Устинова ведется разработка универсального роботизированного устройства, представленного на рис. 1. Данная инициативная разработка создается по модульной технологии и предназначена для выполнения пространственных операций различной степени сложности с высокой скоростью.

Необходимым этапом разработки алгоритмов системы управления манипулятора является получение решения прямой и обратной задачи кинематики. Отличительной особенностью исследуемого робота является наличие избыточных семи степеней подвижности, что позволяет использовать его в широком спектре задач при различных условиях окружающей среды, но наряду с этим обуславливает множественность решений обратной задачи кинематики - главной проблемы кинематического управления.

Объектом исследования является манипуляционный робот шарнирного типа, обладающее семью степенями свободы. Цель работы – разработка алгоритмов решения прямой и обратной

задач кинематики исследуемого робота, а также получение оценки их реализации в модели робота, созданной в среде Matlab.



Рис. 1. Семизвенный модульный манипуляционный робот, разрабатываемый в БГТУ «Военмех»

Решением прямой задачи кинематики является определение положения схвата роботаманипулятора в абсолютной системе координат по известным геометрическим параметрам звеньев и задаваемому вектору обобщенных координат (вектору присоединенных углов)

$$q(t) = (q_1(t), q_2(t), q_3(t), q_4(t), q_5(t), q_6(t), q_7(t))^T.$$

К решению обратной задачи кинематики сводится определение возможных присоединенных углов поворота $q(t)$ по известным геометрическим параметрам звеньев манипулятора и задаваемым положению схвата и его ориентации в пространстве относительно абсолютной системы координат.

Прямая задача кинематики. Определение рабочей зоны манипулятора. По разработанной кинематической схеме звенья манипулятора способны совершать вращательные движения, положение каждого i -ого звена относительно $i-1$ -ого определяется координатой $q_i(t)$. С каждым звеном связана i -ая система координат. При описании кинематики [1] роботов принято кинематические связи между $i-1$ -ой и i -ой системами координат определять однородной матрицей преобразования ${}^{i-1}A_i$.

Матрица преобразования $T(q)$, связывающая абсолютную и систему координат схвата, определяет решение прямой задачи кинематики [1,4]

$$T(q) = \prod_{i=1}^N {}^{i-1}A_i, N = 7 \quad (1)$$

Универсальным алгоритмом для определения уравнений кинематики роботаманипулятора является представление Денавита-Хартенберга [1]. Данное представление является матричным методом последовательного построения систем координат, связанных с каждым звеном манипулятора. Это представление заключается в формировании однородной матрицы преобразования, которая описывает положение относительных систем координат каждого звена относительно предыдущего.

Для составления ДХ-преобразования прежде всего необходимо определить системы координат каждого звена. Каждая система координат строится согласно трем простым правилам:

- ось z_{i-1} направлена вдоль оси i -го сочленения;
- ось x_i перпендикулярна оси z_{i-1} ;
- ось y_i завершает правую декартовую систему координат звена.

Формирование систем координат звеньев для семизвенного робота манипулятора представлено на рис. 2.

Представление Денавита-Хартенберга зависит от четырех геометрических параметров звеньев:

- присоединенный угол θ_i – угол поворота оси x_{i-1} вокруг оси z_{i-1} для того, чтобы она стала сонаправлена с осью x_i ;
- угловое смещение α_i – угол поворота оси z_{i-1} вокруг x_i для того, чтобы она стала сонаправлена с осью z_i ;
- линейное смещение a_i – кратчайшее расстояние между осями z_{i-1} и z_i ;
- расстояние d_i между пересечением оси z_{i-1} с осью x_i и началом $i - 1$ системы координат.

Таким образом, геометрические параметры звеньев семизвеного робота и значения присоединенных углов определяют ДХ-параметры, приведенные в таблице 1.

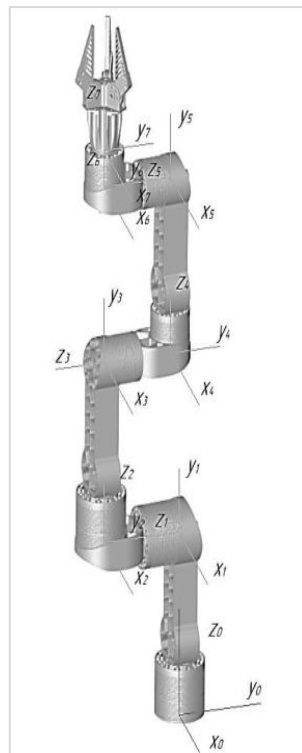


Рис. 2. Системы координат звеньев для семизвеного манипуляционного робота

Таблица 1

Параметры систем координат звеньев для семизвеного манипуляционного робота

	θ_i	α_i	a_i	d_i
1	$q_1(t)$	$\pi/2$	0	0.25
2	$q_2(t)$	$-\pi/2$	0	0.201
3	$q_3(t)$	$\pi/2$	0	0.356
4	$q_4(t)$	$-\pi/2$	0	-0.168
5	$q_5(t)$	$\pi/2$	0	0.333
6	$q_6(t)$	$-\pi/2$	0	0.168
7	$q_7(t)$	0	0	0.083

Следующий шаг после формирования ДХ-систем координат – построение однородных матриц преобразования, связывающих i -ю и $(i - 1)$ -ю системы координат звеньев. Операции

поворота оси z_{i-1} на угол θ_i , сдвиг начала координат вдоль оси z_{i-1} на d_i , сдвиг оси x_i на a_i и поворот вокруг оси x_i на угол α_i описываются матрицами элементарных поворотов и сдвигов, а их произведение дает однородную матрицу сложного преобразования ${}^{i-1}A_i$.

$${}^{i-1}A_i = T_{z,d}T_{z,\theta}T_{x,a}T_{x,\alpha} = \begin{bmatrix} \cos\theta_i & -\cos\alpha_i\sin\theta_i & \sin\alpha_i\cos\theta_i & a_i\cos\theta_i \\ \sin\theta_i & \cos\alpha_i\cos\theta_i & -\sin\alpha_i\cos\theta_i & a_i\sin\theta_i \\ 0 & \sin\alpha_i & \cos\alpha_i & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

Используя матрицу преобразования ${}^{i-1}A_i$ можно связать однородные координаты рабочего органа с абсолютной системой координат. На основе представленного выражения и параметров таблицы 1 формируется решение прямой задачи кинематики семизвеного робота

$$T(q) = {}^0A_1(q_1) {}^1A_2(q_2) {}^2A_3(q_3) {}^3A_4(q_4) {}^4A_5(q_5) {}^5A_6(q_6) {}^6A_7(q_7). \quad (3)$$

Оценим результат решения прямой задачи кинематики, отобразим манипулятор в начальном положении, когда задающий вектор состоит из нулей, и положении, при котором в задающий вектор включены произвольные значения углов, а также найдем рабочую зону манипулятора. Для решения указанных проблем в среде математического моделирования Matlab на основе (2), (3) и данных таблицы 1 разработано алгоритмическое и программное обеспечение.

Для определения рабочей зоны зададим диапазон изменения угла поворота для первых шести звеньев от $-\pi$ до π , разбив его по 20° . Угол поворота седьмого звена никак не влияет на изменение рабочей зоны манипулятора. Чтобы иметь более точное видение всей области, отобразим только точки, приближенные к краю рабочей зоны. Результаты оценки решения задач кинематики представлены на рис. 3 и 4.

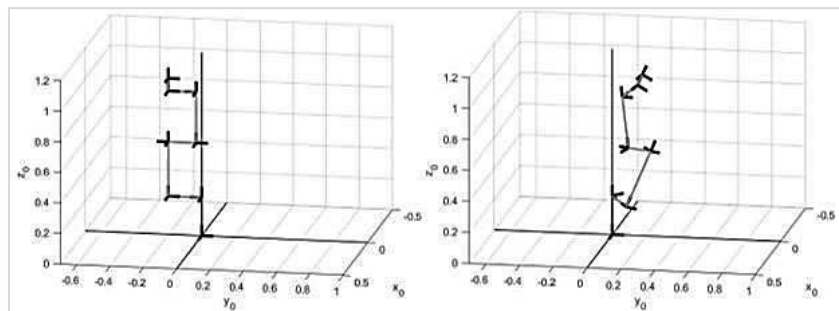


Рис. 3. Начальное и произвольное положение ($q = [130, -25, 100, -45, 260, -30, 0]^T$) семизвеного манипуляционного робота

Обратная задача кинематики. Метод Левенберга-Марквардта. При решении обратной задачи кинематики манипуляционного робота по заданной матрице инструмента $T_{\square}^{\text{зад}}$ необходимо определить вектор обобщенных координат $q(t)$. Для манипуляторов без кинематической избыточности, имеющей структуру, такую, что три последних оси вращения сходятся в одной точке, для решения обратной задачи применяется метод обратных преобразований [1],[4]. Однако для исследуемого робота подобный способ не может быть применен. В настоящей работе предлагается использование итерационного подхода, основанного на решении задачи о наименьших квадратах

$$F(q) = \|f(q)\|^2 = \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^4 (T_{ij}(q) - T_{ij}^{\text{зад}})^2 \rightarrow \min \quad (4)$$

где $T_{ij}^{\text{зад}}$ – элемент заданной матрицы инструмента, $T_{ij}(q)$ – элемент матрицы инструмента решения прямой задачи кинематики (3).

В робототехнике выделяется несколько методов решения данной задачи. В данном случае будет использован метод Левенберга-Марквардта [2], суть которого заключается в следующем: значение вектора q_{k+1} на $k+1$ -ом шаге итерационного процесса вычисляется по следующей формуле:

$$q_{k+1} = q_k - J^T(q_k)f(q_k)[J^T(q_k)J(q_k) + \lambda_k I]^{-1} \quad (5)$$

где $J(q_k) = \frac{\partial F}{\partial q}$ – матрица Якоби, вычисленная на k -ом шаге; λ_k – некоторая неотрицательная постоянная, своя для каждого шага; I – единичная матрица.

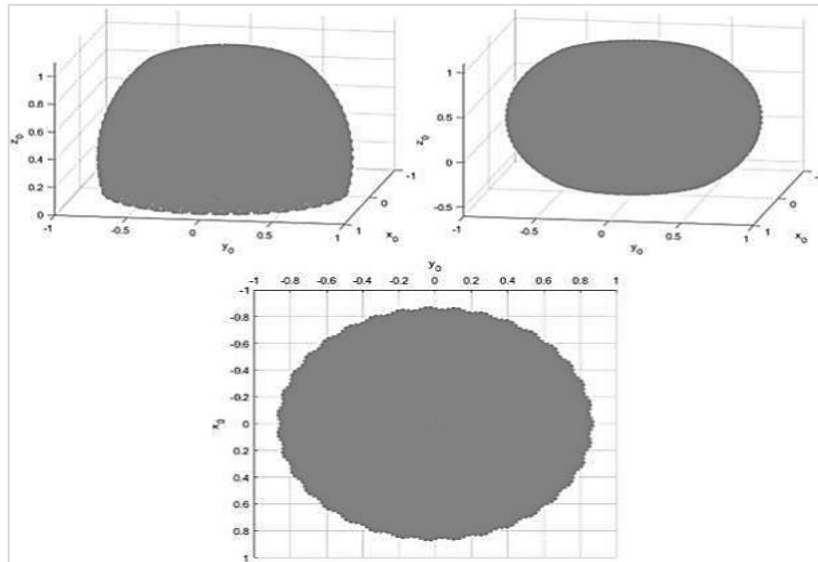


Рис. 4. Рабочая область семизвездного манипуляционного робота

Значение λ_k выбирается достаточным для монотонного спуска по функции невязки $F(q_k)$. Иными словами, этот параметр увеличивается, пока не будет достигнуто условие $F(q_{k+1}) < F(q_k)$.

Использование данного метода при решении обратной задачи кинематики для семизвездного манипулятора с «заморозкой» одной обобщенной координаты (один из углов поворота остается равным нулю) позволяет свести задачу к традиционному случаю без кинематической избыточности. Для примера работы алгоритма, зададим несколько положений инструмента через декартовы координаты пространства и угла Эйлера

$$\begin{aligned} P^I &= (0.3, 0.3, 0.5, 0, 0, 0), \\ P^{II} &= (-0.1, 0.25, 0.6, 1.5, 0.6, 0), \\ P^{III} &= (-0.3, -0.4, 0.6, 1.5, 0.6, -1.4), \\ P^{IV} &= (0, -0.1, 0.7, 0.2, 4.6, 0). \end{aligned}$$

Результаты приведены на рис. 5.

Выводы. В ходе настоящей работы с помощью программы Matlab решены прямая и обратная задачи кинематики для семизвездного манипуляционного робота шарнирного типа. Для алгоритма решения прямой задачи использовалось преобразование Денавита-Хартенберга, для алгоритма решения обратной задачи – метод Левенберга-Марквардта. Метод показывает достаточный показатель сходимости за относительно небольшое число итераций, что является хорошим результатом.

Библиографический список

1. К. Фу, Р. Гонсалес, К. Ли. Робототехника: пер. с англ. М.: Мир, 1989. 624 с.
2. Измаилов А. Ф., Куренной А. С., Стецюк П. И. Метод Левенберга-Марквардта для задач безусловной оптимизации // Вестник Тамбовского университета. 2019. №24. С. 60 – 74.

3. Решение обратной задачи кинематики методом обратных преобразований для манипулятора с пятью степенями свободы // Современное научное знание: теория, методология, практика. 2019. С. 75 – 78.

4. Algorithm for the formation of coordinate system of links of a robot using the representation of Denavite-Hartenberg // Молодежь. Общество. Современная наука, техника и инновации. 2018. №17. С. 77 –78.

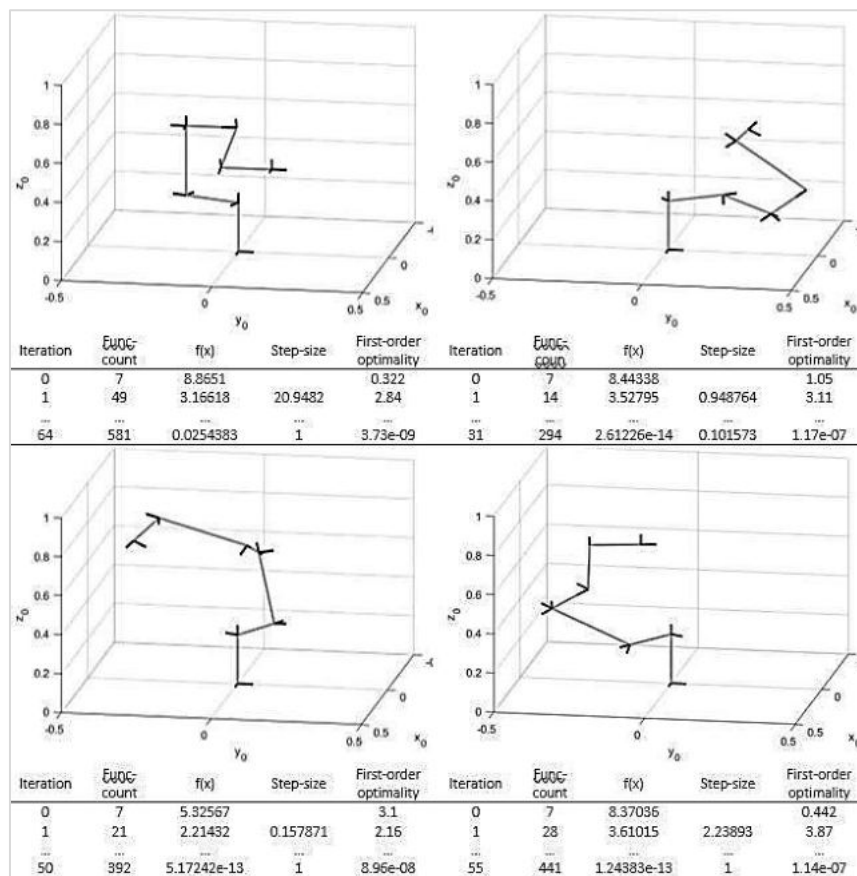


Рис. 5. Обработка манипулятором заданных положений рабочего органа

УДК 004.942

ОБЗОР ПРОКЛАДКИ МАРШРУТА МЕТОДОМ ПОТЕНЦИАЛОВ И СОЗДАНИЯ ТРЕХМЕРНОЙ МОДЕЛИ МЕСТНОСТИ

Д. Д. Конзалаева, И. А. Смирнов

Балтийский государственный технический университет «Военмех» им. Д. Ф. Устинова

Решаемая задача – автоматизированная прокладка маршрута для робота или роботов из исходного района в заданный район цели по недетерминированной местности, полная картина которой в начальный момент времени нам неизвестна.

Основана на методе притягивания цели или целей и отталкивания препятствий, который предложен и обоснован в теоретическом плане в ИПМ им. М. В. Келдыша РАН.

Суть метода заключается в следующем: пусть цель имеет некоторый положительный заряд, а препятствия некоторые отрицательные заряды; местоположения цели и препятствий зафиксированы. Пусть также имеется отрицательно заряженная точка, способная перемещаться. Поместим ее в исходную точку. Под действием сил подвижная точка будет притягиваться к цели и отталкиваться от препятствий, причем законы движения могут задаваться различными способами. Логично предположить, что при некоторых ограничениях на структуру местности и законы движения подвижной точки эта точка достигнет цели [1].

Отметим, что потенциальные поля влияют на скорость подвижного объекта, а не на его ускорение, как происходит в Втором законе Ньютона. Это связано с тем, что «инерционность», заложенная в модель, где влияние происходит через ускорения, делает траекторию подвижного объекта чересчур «изрезанной». В связи с этим используется уравнение движения первого порядка (1), тогда задача построения траектории становится аналогом градиентного спуска [2].

$$\overline{F}_R = \overline{f}_C(\overline{r}_C, k_C) + \sum_{i=0}^n \overline{f}_i(\overline{r}_i, k_i) \quad (1)$$

где \overline{F}_R – равнодействующее влияние препятствий и цели; $\overline{f}_i(\overline{r}_i, k_i)$ – отталкивающее влияние i -ого препятствия; \overline{r}_i – радиус-вектор от подвижного объекта до i -ого препятствия; k_i – коэффициент отталкивания i -ого препятствия; n – количество препятствий; $\overline{f}_C(\overline{r}_C, k_C)$ – притягивающее влияние цели; \overline{r}_C – радиус-вектор от подвижного объекта до цели; k_C – коэффициент притяжения цели.

На деле моделирование выглядит так, пусть есть подвижный робот, которого мы в алгоритме построения маршрута принимаем за точечный отрицательный заряд, так же есть препятствия, которые мы можем характеризовать либо как проходимые, либо как непроходимые, к первым относятся пологие холмы, неглубокие овраги и подобное, а ко вторым – растущие и упавшие деревья, валуны, отвесные склоны, водоемы и прочее аналогичное. Препятствия мы также принимаем за точечные отрицательные заряды, но в зависимости от проходимости препятствия, его размера и формы мы используем разные математические функции для описания величины поля отталкивания и для описания формы этого поля.

При задании таких функций мы вводим коэффициент, определяющий величину поля отталкивания. Поле притяжения цели мы всегда полагаем постоянным, пропорциональным коэффициенту притяжения и направленным к цели.

Посмотрим на результаты моделирования простейшей ситуации, которая может появиться в ходе движения мобильного робота: прокладка маршрута по мосту над речкой.

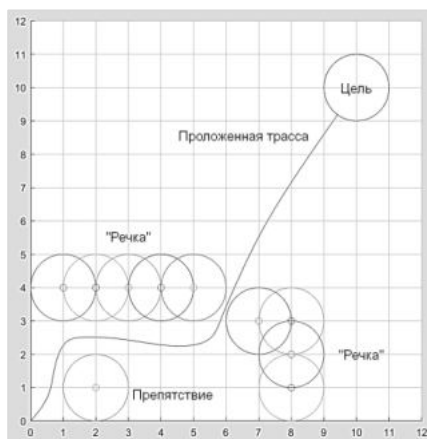


Рис. 1. Трасса по мосту над речкой

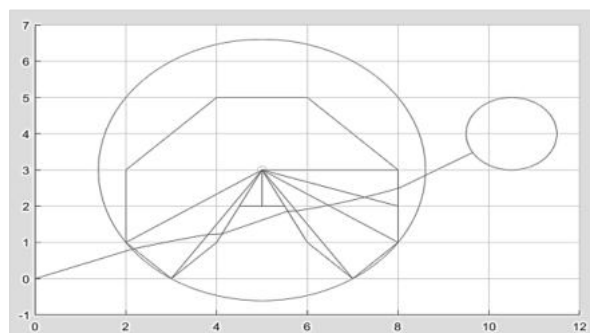


Рис. 2. Трасса по полигонно заданному препятствию

Точечные непроходимые препятствия, такие как дерево, будем задавать как отрицательный заряд с полем, величина которого убывает по показательному закону с соответствующим коэффициентом отталкивания. Протяженное препятствие, как речка на рисунке 1, задается как цепочка точечных непроходимых препятствий. Отметим, что непроходимыми мы можем называть препятствия, коэффициент отталкивания которых в 2 раза больше коэффициента притяжения цели.

Препятствия, контур которых имеет сложную геометрическую форму, такие как некруглые холмы, целесообразно задавать полигонами – замкнутыми контурами, поделенными на сектора с разной «силой» отталкивания от «центра» полигона. Пример такого задания продемонстрирован на рис. 2.

В данном моделировании синий замкнутый контур характеризует собой проходимое обратно выпуклое препятствие, которое, в свою очередь, делится на сектора линиями, проходящими от центра полигона до точки «излома» контура. Величина отталкивания в каждом секторе обратно пропорциональна среднему арифметическому значению длин линий, ограждающих соответствующий сектор. Данное задание «силы» отталкивания сделано по аналогии с трудностью подъема на холм: при равной высоте более длинный склон имеет меньший наклон, а, значит, и подниматься по нему легче.

В задаче навигации, помимо определения алгоритма построения маршрута, также необходимо иметь представление о карте местности, причем о трехмерной. Решение проблемы с трехмерной визуализацией местности нашлось в программе Agisoft PhotoScan.

Agisoft PhotoScan – программное обеспечение, предназначенное для создания трехмерных моделей объектов высокого качества на основе цифровых фотографий.

Для построения 3D модели объекта в программе Agisoft PhotoScan можно использовать любые цифровые фотокамеры (в том числе камеры типа «рыбий глаз» и сферическая камера). Для работы допускаются фотографии объекта, снятые с любых ракурсов. Однако необходимо учитывать, что каждый элемент реконструируемого объекта должен быть виден по крайней мере с двух позиций съемки.

Agisoft PhotoScan позволяет значительно упростить и, что немаловажно, ускорить процесс создания трехмерной модели, поскольку является полностью автоматизированным. Для моделей с заданным масштабом Agisoft PhotoScan также позволяет измерять расстояния и рассчитывать площадь поверхности и объем. Масштабирование модели производится на основании предварительных измерений в пределах реконструируемой сцены.

Основные задачи, решаемые пользователями при помощи программы PhotoScan - восстановление 3D поверхности, построение ортофотоплана и цифровой модели местности.

В данной работе необходимым является построение именно цифровой модели местности.

Первым шагом в построении будет получение набора фотографий местности или интересующего объекта. Количество фотографий будет определять плотность облака точек модели, а, соответственно, и точность модели. Так же необходимо обеспечить удовлетворительную степень продольного перекрытия снимков для корректной обработки (около 60% и более). Например, если имеется некоторое разведывательное задание, то съемка местности с дрона на высоте от 60 м, скорости 50 км/ч и интервалом между съемкой кадров 2 с дает необходимое продольное перекрытие для построения качественной трехмерной модели местности. Стоит заметить, что качество и освещенность фотографий, разумеется, тоже влияет на окончательный результат.

Поэтому вторым шагом, возможно, станет предварительная обработка пакета снимков. На этом шаге необходимо исходить из того, каким визуально должен быть объект, поскольку текстурирование трехмерной модели осуществляется на основе все того же набора фотоснимков. Здесь пользователю необходимо оценить видимость деталей, очертаний и их важность для построения и дальнейшего использования модели.

Стоит заметить, что PhotoScan так же использует данные о положении камеры (ее координаты) для конкретных снимков (при наличии каких-либо средств навигации). Это позволяет более точно определить положение камеры для каждой фотографии.

Таким образом весь процесс подготовки к построению модели можно свести к следующим простым правилам:

1. Снимки должны быть достаточно высокого разрешения (от 5 МПикс).
2. Широкоугольные объективы дают больше информации, чем телеобъективы; полученные с их помощью фотографии лучше подходят для нахождения соответствий между объектами на разных кадрах.
3. Блестящие объекты предпочтительно фотографировать в облачную погоду.
4. Необходимо обеспечить максимальное перекрытие.
5. Наиболее важные детали рекомендуется снимать с 3 и более ракурсов.
6. Для привязки восстановленной трехмерной модели в относительной системе координат, необходимо запомнить или разместить в пределах сцены наземные маркеры, по которым будет построена относительная система координат и восстановлен масштаб. Измеряйте относительные расстояния.

После подготовки собранного материала, его загружают в программу (рис. 1). Далее работа в программе разбивается на следующие этапы:

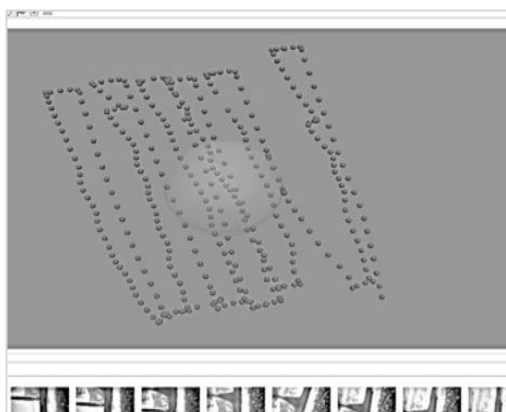


Рис. 3. Добавление папки с фотографиями

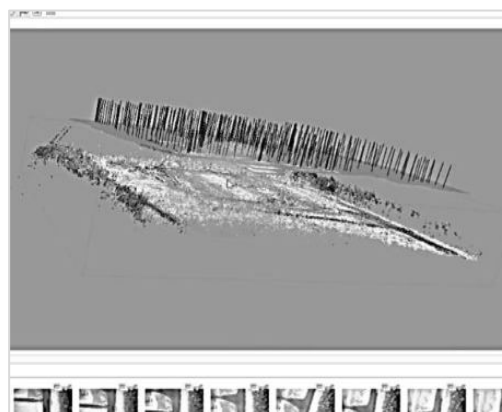


Рис. 4. Разреженное облако
(видна плоскость ориентации камер)

Этап 1. Определение параметров внешнего и внутреннего ориентирования камер

На данном этапе можно выделить рабочие зоны снимков с помощью масок, чтобы убрать лишние помехи. После чего PhotoScan анализирует фотографии и находит общие точки. По ним определяется ориентация, положение и внутренняя геометрия камер. В результате получаем разреженное облако общих точек (рисунок 2) в трехмерном пространстве модели и данные о положении и ориентации камер. Разреженное облако точек служит только для визуальной оценки качества выравнивания фотографий, а также для некоторых режимов построения, а данные о положении камер, их ориентации будут использоваться в дальнейшем в обработке.

Этап 2. Построение плотного облака точек (рис. 3)

На основе данных о положении камер PhotoScan выполняет построение плотного облака точек. Далее пользователю предлагается отредактировать или классифицировать плотное облако точек.

Этап 3. Трехмерная поверхность

Тут PhotoScan строит трехмерную поверхность: полигональную модель (рис. 4) и/или карту высот (рис. 5). Трехмерная полигональная модель описывает форму объекта на основании плотного облака точек. Также возможно быстрое построение модели на основании только разреженного облака точек. Поскольку полигональная модель часто бывает излишней, PhotoScan позволяет сразу перейти к построению карты высот, отказавшись от построения полигональной модели. Пользователь может выбрать проекцию для построения карты высот

из следующих вариантов: географическая, цилиндрическая и проекция на плоскость. Кроме того, PhotoScan позволяет указать классы точек, для которых будет строиться карта высот (если плотное облако было классифицировано на предыдущем этапе).



Рис. 5. Плотное облако точек

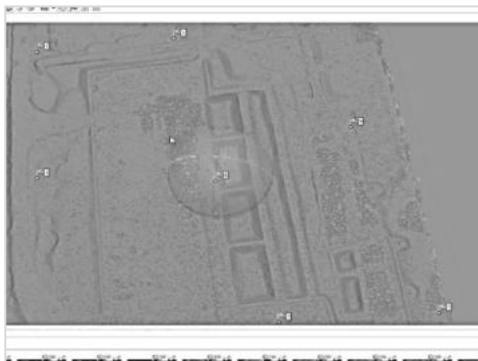


Рис. 6. Полигональная модель

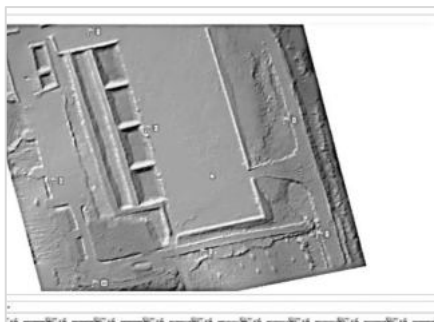


Рис. 7. Карта высот



Рис. 8. Трехмерная модель

Этап 4. Текстурирование

На четвертом этапе в PhotoScan доступно построение текстуры для полигональной модели (если она была построена), а также построение ортофотоплана. Ортофотоплан проецируется на поверхность, указанную пользователем, это может быть карта высот или полигональная модель.

Тем самым мы получаем быстрое и удобное решение проблемы построения трехмерной цифровой модели местности (рис. 6).

Предположим и продемонстрируем в последующих работах, что использование метода потенциалов по восстановленной со снимков модели местности позволяет решать задачу автоматизированной прокладки маршрута для робота или группы роботов.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Н. Г. Яковенко.

Библиографический список

1. *Платонов А. К., Карпов И. И., Кирильченко А. А.* Метод потенциалов в задаче прокладки трассы // М.: Препринт Ин-та прикладной математики АН СССР, 1974, № 124. 27 с.
2. *Платонов А. К., Кирильченко А. А., Колганов М. А.* Метод потенциалов в задаче выбора пути: история и перспективы // М.: ИПМ им. М.В. Келдыша РАН, 2001. 32 с.

3. Пошаговое руководство (Уровень: Продолжающие) : Построение 3D модели здания в программе Agisoft PhotoScan 1.1 [Электронный ресурс]- URL: [https://www.agisoft.com/pdf/PS_1.1%20-Tutorial%20\(IL\)%20-%20Building%20\(Russian\).pdf](https://www.agisoft.com/pdf/PS_1.1%20-Tutorial%20(IL)%20-%20Building%20(Russian).pdf) (дата обращения 23.03.2021).

4. Топографическая аэрофотосъемка с квадрокоптера. Редакция фотоснимков и плотного облака точек. [Электронный ресурс]. URL: https://www.youtube.com/watch?v=9ZyYbpTxlCo&t=818s&ab_channel=%D0%9A%D1%83%D0%BB%D1%8C%D0%BA%D0%BE%D0%93%D1%80%D0%B8%D0%B3%D0%BE%D1%80%D0%B8%D0%B9 (дата обращения 23.03.2021).

5. Руководство пользователя Agisoft PhotoScan Professional Edition, версия 1.4 [Электронный ресурс]. URL: https://www.agisoft.com/pdf/photoscan-pro_1_4_ru.pdf (дата обращения 21.03.2021).

УДК 681.521.2

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ШАССИ РОБОТА ТРУБОЛАЗА

М. С. Лычагин

Балтийский государственный технический университет «Военмех» им. Д. Ф. Устинова

Целью работы является проектирование шасси робота предназначенного для технического контроля внутреннего состояния нефтегазовых труб. В процессе выполнения поставленной задачи был произведен аналитический обзор уже используемых решений, разработка технического задания, проектирование механических и электрических частей.

Диагностика трубопроводов в современном мире важная задача для экономики. В соответствии с постоянной необходимостью замены и ремонта устаревших труб, требуется постоянный контроль за их состоянием. В качестве методов диагностики использовались методы магнитной и ультразвуковой диагностики. Они показали свою малую эффективность в случаях, где трубопроводы имели вертикальные участки или изгибы.

По мнению авторов статьи [1], повсеместное использование труб в современном мире и необходимость их обслуживания ставит высокоприоритетную задачу по отслеживанию любых дефектов этой транспортной системы. Все большую востребованность для выполнения подобных задач приобретают мобильные робототехнические системы. Роботы, сконструированные с учетом высокой проходимости, надежности и способные работать на протяжении долгого времени автономно упрощают диагностику за счет отсутствия необходимости демонтажа, возможности обследования геометрически сложных и труднодоступных участков и при этом могут быть снаряжены всем необходимым диагностическим оборудованием, передавая всю полученную информацию на пульт управления оператора. Помимо сугубо технических преимуществ метод диагностики с помощью мобильных роботов несет и экономические преимущества за счет сокращения расходов на дополнительные демонтажные работы и снижения риска нанесения вреда человеческим жизням и здоровью [1].

На основе изученных патентов и используемых конструкций были выделены общие тенденции в конструировании подобных устройств. Подавляющее большинство представляет из себя платформу на колесах с набором датчиков для визуального контроля, ориентации в системе труб и определения положения устройства относительно точки доступа. Альтернативные конструкции были рассмотрены на примере следующих разработок. В патенте номер RU 2 111 453 С1 представлена заявка на универсальный диагностический снаряд-дефектоскоп для контроля за состоянием трубопровода [2]. Данное изобретение представляет из себя цепь секций, соединенных между собой карданами и гермокабелями. Различные секции устройства, такие как магнитная, ультразвуковая и энергетическая с генераторной установкой, а также

секция навигационных и высотно-плановых отметок, заключены в отдельные герметичные корпуса и служат для конкретных выполнения конкретных задач, таких как диагностика трубопровода, автономное питание управление, навигация, сбор и анализ полученных данных. На рис. 1 приведена конструкция устройства.

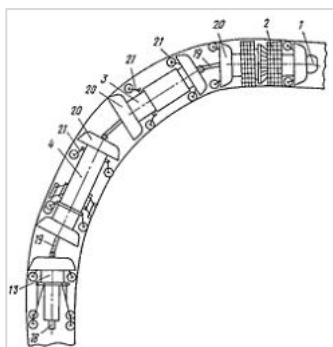


Рис. 1. Устройство снаряда дефектоскопа по патенту №RU 2 111 453 C1

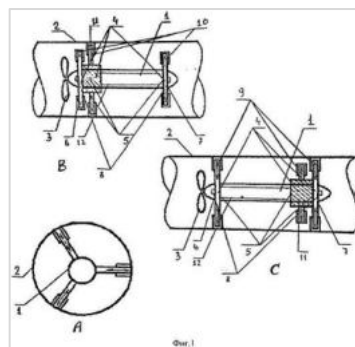


Рис. 2. Устройство по патенту №RU 2 571 242 C1

В патенте номер RU 2 571 242 C1 представлен автономный адаптивно шагающий робот для диагностики газопроводов [3]. Устройство представляет из себя трех осевое аэродинамическое тело перемещающаяся с помощью винтовой тяги. В изобретении присутствуют энергетический блок для автономной работы, блок видеокамер для выявления дефектов, а также блоки связи и диагностики. На рис. 2 приведена конструкция устройства.

Для анализа технических решений приведённых выше были использованы критерии, представленные в [4]. Требования, которым должен отвечать робот [4]:

1. Робот должен перемещаться по трубам и проходить 90-градусные изгибы, Т-образные сочленения, соединительные муфты.
2. Робот должен быть оборудован сенсором, обнаруживающим дефекты, причем наличие этого сенсора не должно мешать роботу перемещаться по трубам.
3. Робот должен допускать возможность введения его в трубопровод и извлечение наружу в одной и той же точке трубы, чтобы избежать необходимости раскопок грунта в нескольких местах.
4. Робот должен быть оборудован средствами регистрации пройденного расстояния и определения собственного положения; эти данные должны записываться вместе с информацией о дефектах.

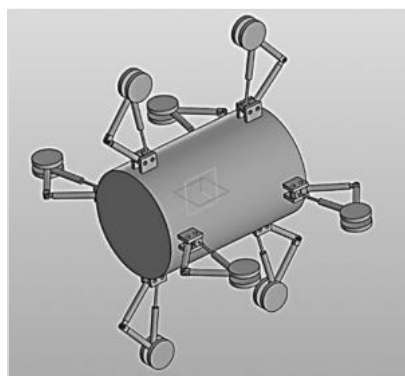


Рис. 3. Упрощенная 3-д модель предлагаемого технического решения

В качестве технического решения для усовершенствования конструкции было решено добавить адаптивную подвеску. Тем самым обеспечивается повышенная проходимость робота, что позволяет использовать устройство в трубах различных диаметров и проходить более сложные участки систем труб. На рис. 3 приведена упрощенная 3-д модель устройства с адаптивной подвеской.

В случае необходимости прохождения вертикальных участков подвеска должна обеспечивать фиксацию робота в трубе путем сильного прижатия колес. Для перемещения по участкам с крутыми изгибами регулировка габаритных размеров путем прижатия колес к корпусу устройства будет позволять осуществлять разворот на таких участках.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Е. Б. Коротков.

Библиографический список

1. *Мунасыпов Р. А., Москвичев С. С., Шахматьев Т. Р.* Телеуправляемый диагностический комплекс на основе робота высокой мобильности // Современные тенденции в технологиях металлообработки и конструкциях металлообрабатывающих машин и комплектующих изделий. Межвузовский научный сборник. Уфа: 2015. С. 129–134.

2. Универсальный диагностический снаряд-дефектоскоп для контроля за состоянием трубопровода RU 2 111 453 C1 [Электронный ресурс] // Яндекс Патент; URL: https://yandex.ru/patents/doc/RU2111453C1_19980520 (дата обращения: 30.02.2021).

3. Автономный адаптивно шагающий робот для диагностики газопроводов RU 2 571 242 C1 [Электронный ресурс] // Яндекс Патент; URL: https://yandex.ru/patents/doc/RU2571242C1_20151220 (дата обращения: 30.02.2021).

4. *Поезжаева Е. В., Федотов А. Г., Загладов П. В.* Разработка робота для контроля трубопроводов // Молодой ученый. 2015. № 16 (96). С. 218 – 222.

УДК 621.865.8

ПРИМЕНЕНИЕ ДАТЧИКА MPU 6050 НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МИКРОКОНТРОЛЛЕРОВ ARDUINO UNO R3 И ARDUINO NANO В РОБОТОТЕХНИКЕ

Д. А. Матахин

Ковровская государственная технологическая академия им. В. А. Дегтярева

Современные системы управления полетом имеют в своем распоряжении множество датчиков – GPS, датчики барометрического давления, датчики скорости полета, список можно продолжать. Основной вклад в летные расчеты по-прежнему вносят гироскопы в сочетании с акселерометрами. Как следует из названия, акселерометры измеряют ускорение – будь то из-за силы тяжести, высокого поворота G или тормозной силы. Однако акселерометров недостаточно – акселерометр в свободном падении будет измерять 0 G. Поворотные силы сбивают с толку систему, пытающуюся работать исключительно на данных акселерометра. Вот тут-то и появляются гироскопы. Гироскопы измеряют скорость вращения вокруг оси. Точно так же, как наш пример вертолета выше охватывал рыскание, гироскопы можно использовать для измерения тангажа и крена самолета [3].

Микромеханические гироскопы (Мемс) выполняются по интегральной микротехнологии и позволяют создавать в размерах обычной ИМС(4x4 мм) электронные приборы способные формировать сигнал о линейном ускорении и угловой скорости, по 3-м координатам соответствен-

но. Кроме того в состав MPU 6050 входит 3х осевой магнитометр(выделить на слайде), датчик высоты и барометрический датчик давления позволяющий определять высоту объекта.

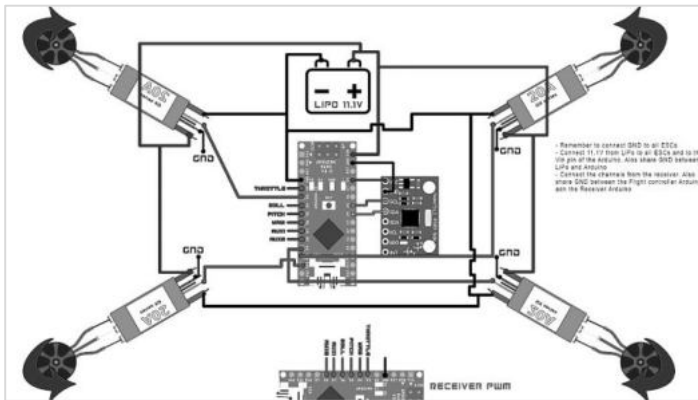


Рис. 1. Полетный дрон на Arduino Nano

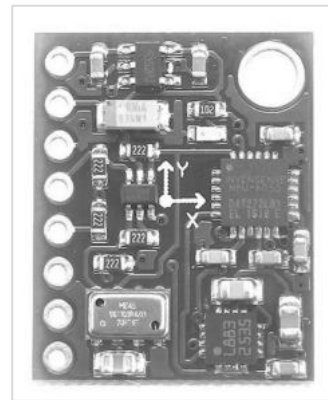


Рис. 2. Датчик MPU 6050 GY – 86

Все чувствительные элементы в результате могут быть размещены на плате 24×20 мм имеют возможность передавать сигнал по I²C то есть в цифровом формате [5].

MPU 6050 имеет широкий круг возможности для соединения с различными типами микроконтроллеров, в том числе и с Arduino Uno R3 и Arduino Nano.

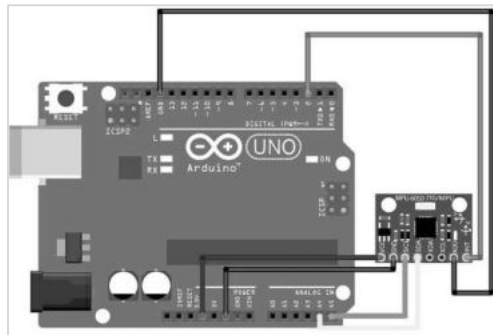


Рис.3. Схема подключения платы Arduino Uno R3 и датчика MPU 6050 GY-86

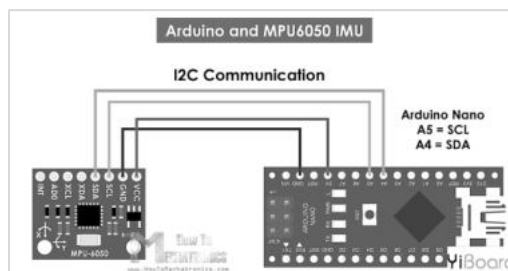


Рис. 4. Схема подключения датчика MPU 6050 к Arduino Nano

При конструировании движущихся объектов, источником которого является аккумуляторная батарея, необходимо учитывать вес, каждого элемента, поэтому для типа квадрокоптер-

ра целесообразнее комбинировать MPU 6050 с микроконтроллером Arduino Nano, кроме того данный микроконтроллер обладает возможностью соединения с беспроводным модулем передачи информации.

Внутренне МЕМС является микро электромеханический сенсор, который формирует данные по 3-м координатам, по каналам линейного ускорения и угловых скоростей. В состав датчика входит: приводной двигатель, который формирует угловое колебание ротора датчика [1].

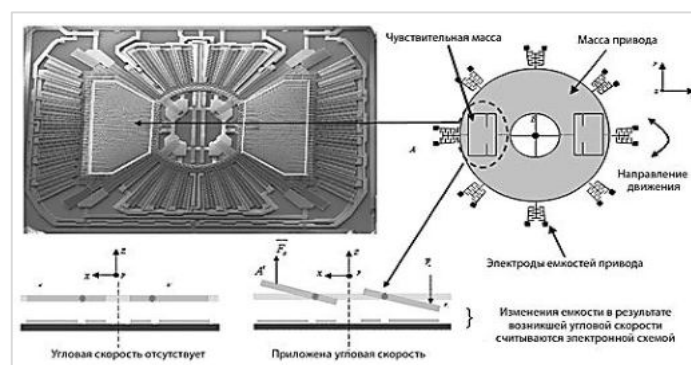


Рис. 5. Внутреннее размещение МЕМС

В ходе проведенного исследования мной были приведены следующие исследования по определению порога чувствительности акселерометров относительно плоскости горизонта, определены статической характеристики, датчика угловых скоростей и акселерометров, кроме того были проведены исследования на вибростенде, с целью определения динамических характеристик ММГ прибора. По работе с данным прибором были использованы различные скетчи, которые позволяли выявить особенности работы прибора в различных режимах работы [2].

Однако функционально законченным является скетч Multi Wii который по сути дела представляет панель навигационного оборудования позволяющее одновременно регистрировать каналы линейного ускорения ,угловых скоростей и направление на магнитный полюс (на север)и высоты [4], с помощью данного интерфейса были приведены аналогичные исследования как для выше приведённых программ по определению порога чувствительности по каналам линейного ускорения угловой скорости и высоты. По 3-м координатам, связанным с движущимся объектом, как тангаж, бковой крен и рыскание. Интерфейс программы Multi Wii может служить в дальнейшем для беспроводного управления, движущимися микрообъектами, такими как квадрокоптер,

Выводы. Таким образом, проверена работоспособность датчика GY- 86 с использованием плат Arduino Uno и Arduino Nano, но однако применение плат Arduino Nano требует 3.3 В, поскольку его не имеется в стандартном функционале Arduino Nano. Всё-таки целесообразнее для данной работы будет применять плату Arduino Nano , потому как она отлично подходит по функционалу и по габаритным размерам в представленный дрон.

Библиографический список

1. *Lestev A. M., Popova I. V.* Micromechanical Gyroscopes Present State in Theory and Practice // 5-th St. Petersburg International conf. on integrated navigation systems, May 1998. P. 173 – 182.
2. *Лестев А. М., Попова И. В.* Современное состояние теории и практических разработок микромеханических гироскопов // Гироскопия и навигация. 1998. №3(22). С.81 – 94.
3. *Лестев А. М., Попова И. В., Пятышев Е. Н., Лурье М. С., Семенов А. А., Евстифеев М. И.* Разработка и исследование микромеханического гироскопа // Гироскопия и навигация. 1999. №2(25).С. 3 – 10.

4. Джашитов В. Э., Лестев А. М., Панкратов В. М., Попова И. В. Влияние температурных и технологических факторов на точность микромеханических гироскопов // Гироскопия и навигация. 1999. №3(26). С. 3 – 16.

5. Гай Э. Наводящиеся снаряды с инерциальной навигационной системой на микромеханических датчиках, интегрированной с GPS // Гироскопия и навигация, 1998. №3(22). С.72 – 81.

УДК 531.8

ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ КОЛЕСНОГО РОБОТА ДЛЯ РАБОТЫ В ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ

А. В. Машкина, А. Ю. Бойко, В. И. Зинченко

Балтийский государственный технический университет «Военмех» им. Д. Ф. Устинова

Роботы и мехатронные устройства помогают в ряде случаев заменить рабочий персонал в условиях, несовместимых с человеческой жизнью. Такие условия называются экстремальными, к ним относятся различные аварийные ситуации или штатные предельные ситуации, которые подразумеваются самим технологическим процессом производства. Экстремальные условия связаны, прежде всего, с различными внешними физическими явлениями, такими как радиация, мощные электромагнитные поля, высокие или низкие температуры, атмосферные давления и т. д. [1].

Робот, предназначенный для работы в подобных условиях, должен обладать специальной системой управления (СУ), обеспечивающей работу в экстремальных ситуациях. СУ должна обеспечивать передвижение по местности, иметь развитую электронную, программную и сенсорно - информационную подсистемы для исследования окружающей обстановки и получения обратной связи для взаимодействия с внешними объектами.

Историческими примерами робототехнических комплексов (РТК), предназначенных для работы в специальных условиях, являются копирующие манипуляторы, созданные для исследований в области ядерной физики, а затем и атомной промышленности в 1940-1950 годах. Также можно упомянуть роботов, которые использовались для ликвидации аварии на Чернобыльской АЭС и управлялись как дистанционно персоналом, так и с помощью средств адаптивного управления [1]. Изображения таких роботов представлены на рис. 1 и 2.

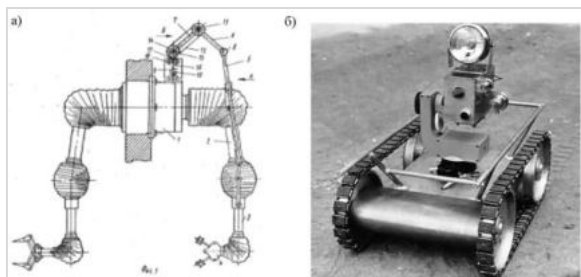


Рис. 1. Копирующий манипулятор (а), мобильный робот (б)



Рис. 2. Мобильный робот

В качестве примеров современных отечественных роботов можно привести МРК-35, который предназначен для прокладки кабеля, ведения погрузочно-разгрузочных работ, транспортирования предметов в мягких и жестких оболочках, обнаружения и обезвреживания

предметов, подозреваемых на взрывное устройство [2], а также «Варан», предназначенный для визуальной разведки, поиска и первичного диагностирования подозрительных на взрывное устройство (ВУ) предметов с помощью телевизионных камер и специального навесного оборудования, дистанционное обезвреживание ВУ, загрузка ВУ в специальные контейнеры для эвакуации и выполнение технологических операций по обеспечению доступа к потенциально опасным объектам. [3] Вышеперечисленные примеры представлены на рис. 3.

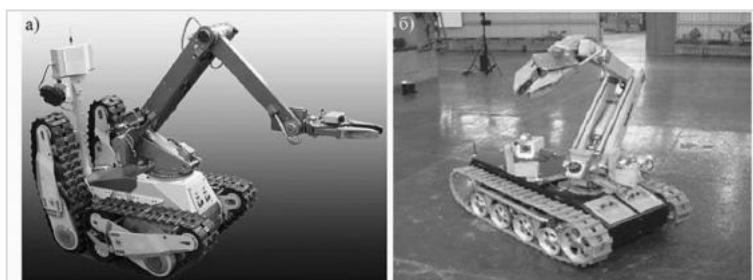


Рис. 3. Роботы МРК-35 (а) и «Варан» (б)

Сегодня в России существует проблема нехватки сертифицированных отечественных разработок в области экстремальной робототехники.

В рамках статьи была поставлена задача разработки прототипа робототехнического комплекса, подходящего для работы в экстремальных условиях, в частности с возможностью преодоления трассы с препятствиями, а также предназначенного для различных манипуляционных и транспортных работ. На рис. 4 представлена конструкция данного робота. В настоящей работе рассматривается прототип робота, разработанный для экстремальных условий, построенный на базе современного микроконтроллера Arduino.

Четырехколесное шасси робота напечатано на 3D-принтере. 3D-печать в наше время набирает огромную популярность во всех сферах деятельности человека, так как скорость производства позволяет получить несколько деталей за то же время, которое фрезер ЧПУ станка будет делать одну. Стоит учесть, что 3D-принтер не требует дорогой оснастки и стоимость материала не высокая.

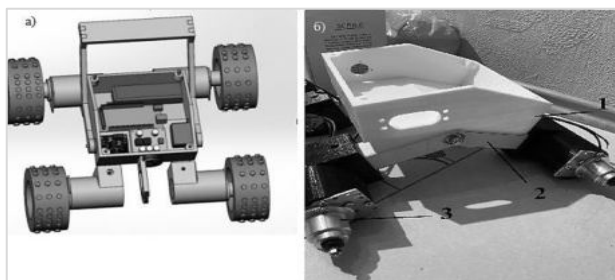


Рис. 4. Внешний вид робота: 3D-модель (а), изготовленный корпус прототипа (б)

Робот (рис. 4б) состоит из подвижной платформы, состоящей из корпуса 1 и шасси 2, которые механически связаны посредством двух звеньев, обеспечивающий свободный наклон корпуса робота относительно шасси для переноса центра тяжести и преодоления, таким образом, некоторых типов препятствий. Движение робота обеспечивается с помощью четырех двигателей постоянного тока типа gb-35gm. Подшипниковые узлы 3, разработанные в ЦНИИ РТК, предназначены для снятия осевой и радиальной нагрузки с выходного вала, что увели-

чивает срок эксплуатации двигателя и редуктора. Конструкция корпуса робота позволяет закрепить два идентичных звена с помощью шпильки и подшипников, а подвижная подвеска обеспечит проходимость труднодоступных участков.

Разработанная и изготовленная конструкция, была исследована на испытательном полигоне в городе Тюмень, предоставленном центром робототехники и автоматизированных систем управления Тюменской области. В результате испытаний были выявлены следующие недостатки и обозначены варианты их устранения:

— для надежного преодоления препятствий полигона, состоящего из кубических ячеек с шириной одной стороны 720 мм, необходимо уменьшить габаритные размеры колесной базы; это позволяет исключить застревание робота и облегчить его маневры; доработанный вариант конструкции шасси с уменьшенной шириной показан на рис. 5, а);

— стандартным покупным колесам робота не хватает жесткости, вследствие чего шасси не обеспечивает достаточную амортизацию; для отдельных видов испытаний требуется использование различных типов колес (рис. 5, б); колеса, изображенные слева, широко используются для гоночных радиоуправляемых машинок, а представленные справа хорошо подойдут для передвижения по бездорожью.

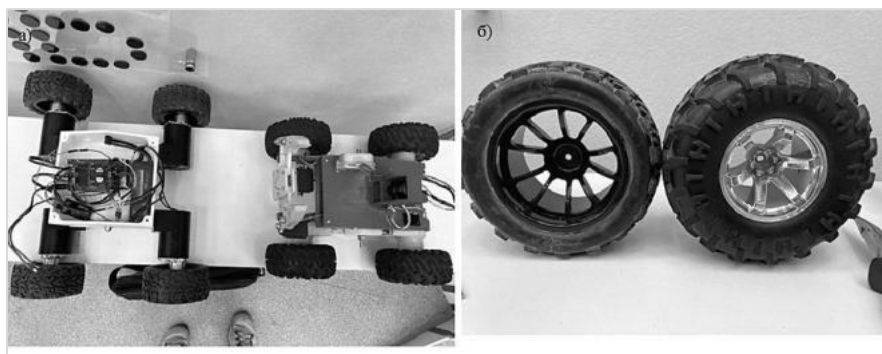


Рис. 5. Аналог конструкции робота (а) и колеса (б).

Рассмотрим электронную и программную составляющую проекта. Управляющим устройством робота является микроконтроллер Arduino Mega 2560 на базе модуля ATmega 2560. Для усиления ШИМ - сигнала с микроконтроллера и его подачи на двигатели используется модуль Monster Moto Shield с двумя каналами на основе микросхемы VN13ASP30. Ранее в качестве драйвера для двигателей постоянного тока использовался модуль на основе микросхемы L298N, однако из-за перегрева в ходе испытаний, было принято решение о смене компонента.

Также к платформе Arduino подключаются датчики (один ультразвуковой и 8 датчиков линий на отдельной плате), приемник для пульта, подключенный по интерфейсу UART и сервоприводы. Программное обеспечение, загружаемое в управляющее устройство, написано на языке C++.

Управление робототехническим комплексом возможно в двух режимах: ручном и автоматическом. Первый предполагает наличие оператора, который через пульт управляет роботом в дистанционном режиме. Программа в управляющем устройстве обрабатывает сигнал с передатчика при помощи следующих выражений:

$$\begin{aligned}V_L &= speed + rotate \\V_R &= speed - rotate\end{aligned}$$

где: V_L , V_R – подаваемые, соответственно, на левую и правую пару колес сигналы напряжений через, $speed$ и $rotate$ – масштабированные аналоговые сигналы джойстика пульта, задающие направление и скорость движения и поворота.

В автоматическом режиме управления машина ориентируется в пространстве, снимая показания с датчиков, в зависимости от условий перемещения: трасса с опорной линией или лабиринт.

В дальнейшем планируется разработка собственной платы управления роботом и дальнейшее улучшение конструкции. Проект может использоваться как платформа для установки оборудования различного назначения. Также робот будет способен снимать окружающую обстановку при помощи систем технического зрения (распознавание QR-кодов и др.). Аprobация прототипа планируется на соревнованиях «Кубок РТК».

Научный руководитель – Н. С. Слободзян.

Библиографический список

1. Юревич Е. И. Основы робототехники. 2 изд., перераб. и доп. СПб: БХВ-Петербург, 416 с.
2. Экоинвент. [Электронный ресурс]. Модель МРК-35. URL: <http://www.ecoinvent.ru/production/mobilnye-roboty/model-mrk-35.php> (дата обращения: 29.03.21).
3. Сайт Научно-Исследовательского Института научно-учебного комплекса специального машиностроения (НИИ НУК СМ) МГТУ им. Н. Э.Баумана [Электронный ресурс]. МРК «Варан». URL: <http://niism.bmstu.ru/otdelyi-nii-sm/sm4-6/mrk-«varan»> (дата обращения: 29.03.21).

УДК 621.865.8

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ СИЛОМОМЕНТНОГО ОЧУВСТВЛЕНИЯ МАНИПУЛЯЦИОННОГО РОБОТА ШАРНИРНОГО ТИПА

Д. В. Новицкая, О. И. Желтышев, И. О. Гришкевич, Д. Н. Захаров

Балтийский государственный технический университет «Военмех» им. Д. Ф. Устинова

Введение. Несмотря на более чем шестидесятилетнюю историю развития робототехники, остается актуальной задача создания антропоморфного манипуляционного робота – полного аналога человеческой руки. На сегодняшний день успешно решается задача точного управления звеньями манипуляционного робота, однако силомоментное ощущение робота на «человеческом» уровне до сих пор не достигнуто.

При решении задач управления манипулятор постоянно взаимодействует с окружающей средой. Успешность выполнения им задач зависит от способности манипулятора адаптироваться к внешним условиям, которые нередко могут меняться с течением времени. Кроме того, качество манипулирования зависит от информации о параметрах контакта инструмента, на основе которых управляют роботом, исключая повреждение объекта манипулирования, выпадение из схвата, удары о посторонние предметы и т.п., поэтому данные о параметрах контакта являются весьма ценными.

Чтобы регистрировать изменения во взаимодействии робота с окружающей средой и в соответствии с ними оперативно изменять закон управления, были разработаны различные системы ощущения, аналогичные человеческим органам чувств. Наибольшее количество информации об объекте управления можно получить от двух типов таких систем: системы технического зрения (СТЗ) и системы силового (тактильного, силомоментного) ощущения [1]. В настоящей статье будет продемонстрирован вариант решения такой актуальной в современной робототехнике задачи, как силомоментное ощущение манипуляционного робота.

Существует несколько методов «осязательного» ощущения манипуляторов специальными типами датчиков, они используют преобразователи прямого и косвенного измерения

усилия [1]. К первому типу преобразователей относятся: тактильные матричные, силомоментные, динамические тактильные датчики [2], ко второму – датчики положения и датчики тока. В зависимости от задач манипулятора выбирается тип и количество датчиков, совокупность которых составляет систему силомоментного очувствления.

Целью исследования является формирование функциональной схемы, выбор элементной базы и разработка модели силомоментного очувствления манипуляционного робота [3] для работы с легко деформируемыми предметами. Главными требованиями к разрабатываемой системе являются очувствление контактных поверхностей схвата для контроля прикладываемых к объекту манипулирования усилий и получение данных о векторе сил и моментов для автоматизации сборочных операций. Система должна обладать хорошей чувствительностью и линейностью, а также отличаться невысокой стоимостью, простотой изготовления, обслуживания и освоения.

1. Функциональная схема системы силомоментного очувствления. В общем случае, системой силомоментного очувствления робота называется включенная в его контур управления информационная система, предназначенная для определения составляющих действующего на рабочий орган главного вектора сил и моментов, и формирования для него управляющего воздействия [1]. Очевидно, что датчики такой системы располагают максимально близко к зоне, в которой возникают контактные силы, которые необходимо учитывать.

Систему силового (тактильного) очувствления можно считать частным случаем системы силомоментного очувствления, поэтому в дальнейшем будем использовать последнее обозначение в качестве общего.

Функциональная схема силомоментной системы очувствления (показана на рис. 1) имеет типовую структуру [1, 4], включающую датчики силы (момента), блок предусиления и блок обработки информации.

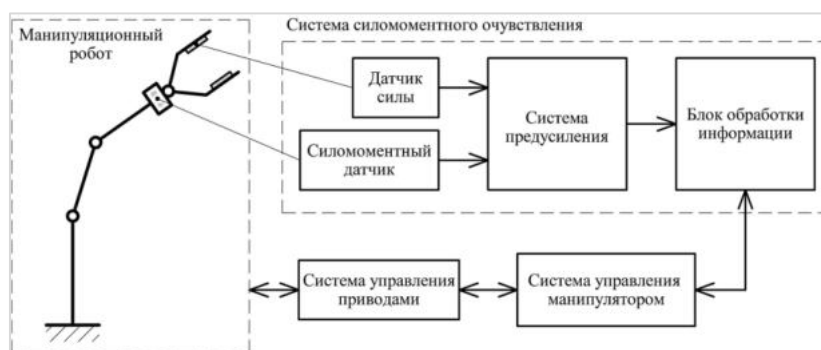


Рис. 1. Типовая функциональная схема системы силомоментного очувствления

Главным элементом системы силового очувствления являются датчики силы (момента), обеспечивающие первичную информацию о силе (моменте). Принцип действия большинства этих датчиков основан на использовании упругого элемента, деформирующегося под действием усилия, и определении величины этой деформации как его меры. Величина деформации, в свою очередь, определяется с помощью различных чувствительных элементов, преобразующих перемещение в электрический сигнал. Далее этот сигнал усиливается (блок «Система предусиления»), переводится из аналоговой величины в цифровую, конвертируется в формат, удобный для дальнейшей работы («Блок обработки информации») и поступает в систему управления манипулятором, в которой формируется желаемый закон управления и передается в систему управления приводами.

Рассмотрим подробнее типы силовых и силомоментных датчиков.

2. Выбор датчиков для системы

2.1. *Обзор и анализ тактильных датчиков.* Датчик силы представляет собой устройство, регистрирующее наличие приложенного к поверхности усилия и определяющее его величину. Датчики силы имеют общий принцип действия, но могут отличаться по физическому типу преобразования.

Их принцип действия заключается в следующем: деформация упругого элемента вызывает изменение импеданса связанного с ним чувствительного элемента, которое с помощью измерительной схемы преобразуется в выходное напряжение. Обобщая, можно сказать, что процедура преобразования информации в таком датчике заключается в получении электрического сигнала, прямо пропорционального величине приложенной силы.

Рассмотрим типы тактильных датчиков в зависимости от физического эффекта, лежащего в основе их принципа преобразования. Наиболее известные из них:

1. Тензорезистивные датчики – образованы нанесенным на гибкую подложку проводником зигзагообразной формы, сопротивление которого меняется при воздействии внешней силы.

2. Пьезоэлектрические датчики – создаются на основе пьезоэлектриков, которые, как известно, при геометрической деформации (в случае датчика – от воздействия внешней силы) генерируют пропорциональное ей напряжение.

3. Емкостные датчики – представляют собой конденсаторы, расстояние между обкладками (а значит и емкость) которых изменяется под действием внешней силы.

4. Магнитострикционные датчики – основываются на обратимости эффекта магнитострикции – изменении магнитных свойств тела при геометрической деформации (в случае датчика – от воздействия внешней силы).

5. Индуктивные датчики – регистрируют изменения магнитной индукции у датчика под воздействием внешней силы; как правило, принцип действия базируется на изменении амплитуды колебаний генератора при деформации металлического, магнитного, ферромагнитного или аморфного материала чувствительного элемента.

6. Механические датчики – чаще всего являются бинарными датчиками индикации наличия или отсутствия касания, основанными на механических элементах.

7. Оптические датчики – состоят из объединенных в одном корпусе излучателя, генерирующего вспышки света, и приемника, принимающего их после отражения от поверхности упругого элемента и генерирующего пропорциональный им электрический сигнал.

На основе изученной литературы [5, 6, 7] по физическим принципам действия тактильных датчиков были выделены соответствующие каждому типу достоинства и недостатки, результаты анализа представлены в таблице 1.

Тактильное ощущение контактных поверхностей осуществляется индивидуально для каждой конструкции схвата. В настоящем случае было решено использовать комбинацию из тензометрических датчиков, равномерно распределенных по всей площади контактных поверхностей пальцев схвата.

Для разрабатываемой системы подходят тензорезистивные датчики, ввиду таких качеств, как: широкий диапазон измерений, высокая точность, стабильность, надежность, долговечность, хорошо известная технология и небольшая стоимость.

Подбор тензодатчиков (рис. 2) осуществлялся по каталогу компании SmS Sensor [8]. Был выбран фольгированный металлический тензодатчик 2ФКП-3-400 с размерами подложки 7.2x8.3 мм, электрическим сопротивлением 400 Ом \pm 0.35%, с диапазоном измеряемых деформаций $\pm 3000 \text{ млн}^{-1}$ током питания не более 25мА и рабочей температурой в пределах -50...+70 °С. Также было решено использовать тензометрический датчик нагрузки балочного типа ГНАС с измеряемой нагрузкой до 5 кг, точностью 0.05%, пределом превышения допустимой нагрузки в 200%, диапазоном температурной компенсации 0...+40°С, габаритами 12.7x12.7x52 мм и степенью защиты IP62.



Рис. 2. Тензорезистивные датчики: 2ФКП-3-400 и ФНАС

Таблица 1
Достоинства и недостатки разных типов тактильных датчиков

Тип датчика по физическому принципу	Достоинства	Недостатки
Тензорезистивный	<ul style="list-style-type: none"> • широкий диапазон измерений • долговечность • хорошая точность • линейность • низкая стоимость 	<ul style="list-style-type: none"> • гистерезис • большая потребляемая мощность • ограниченное пространственное разрешение • чувствительность к влажности и механическим повреждениям
Пьезоэлектрический	<ul style="list-style-type: none"> • широкий динамический диапазон измерений • высокая чувствительность 	<ul style="list-style-type: none"> • сложность электроники • по природе динамичны: сигнал падает до нуля при постоянной нагрузке • зависимость от температуры
Ёмкостной	<ul style="list-style-type: none"> • широкий диапазон измерений • высокая чувствительность • линейность • робастность 	<ul style="list-style-type: none"> • чувствительность к помехам • диэлектрическая и температурная чувствительность • ограниченное пространственное разрешение • сложность электроники
Магнитострикционный	<ul style="list-style-type: none"> • широкий диапазон измеряемых смещений • простота реализации 	<ul style="list-style-type: none"> • ограниченное пространственное разрешение • механические проблемы при измерении на наклонных поверхностях
Индуктивный	<ul style="list-style-type: none"> • широкий диапазон измерений • малый гистерезис • линейность сигнала 	<ul style="list-style-type: none"> • чувствительность к помехам • необходимость схемы переменного тока • низкая надежность
Механический	<ul style="list-style-type: none"> • простота принципа действия • хорошо подходят для пробных испытаний 	<ul style="list-style-type: none"> • сложность при создании матричной конструкции • ограниченное пространственное разрешение

Оптический	<ul style="list-style-type: none"> • очень высокое разрешение • совместимость с технологиями технического зрения • обрабатывающая электроника может быть далеко от датчика • нечувствительность к помехам 	<ul style="list-style-type: none"> • повышенные требования к материалу упругого элемента • слабый гистерезис • ограниченное пространственное разрешение
------------	---	--

2.2. *Обзор и анализ силомоментных датчиков.* Силомоментный датчик (Six-Axis Force/Torque Sensor) – это специальное устройство, которое способно производить измерение трехмерных сил (FX, FY, FZ) и моментов (MX, MY, MZ) в декартовой системе координат. Структурно такой датчик представляет собой многоканальную измерительную систему, состоящую из совокупности упругих и чувствительных элементов, специальным образом ориентированных в пространстве [1]. Принцип действия заключается в следующем: деформация упругого элемента вызывает изменение импеданса связанного с ним чувствительного элемента, которое с помощью измерительной схемы преобразуется в выходное напряжение. Обобщая, можно сказать, что процедура преобразования информации в таком датчике заключается в получении вектора электрических сигналов, компоненты которого прямо пропорциональны компонентам главного вектора сил и моментов. Физический принцип, лежащий в основе преобразования, так же как и у тактильных датчиков может быть резистивным, оптическим, пьезорезистивным и т.п.

На современном рынке готовые решения по силомоментным датчикам предлагают, в основном, три компании: Robotiq [9], OnRobot [10] и Schunk [11]. Рассмотрим предлагаемую ими продукцию подробнее: в таблице 2 приведены основные технические характеристики, на рис. 3 – графические изображения

Таблица 2
Обзор готовых решений силомоментных датчиков

Компания	Robotiq	OnRobot		Schunk
Название СМД	FT-300	HEX-E	HEX-H	EOA FTN-AXIA 80
Количество осей	6			
Диапазон измерений сил, Н	±300	±200	±200	±500
Точность, Н	0.1	0.8	1	–
Диапазон измерений моментов, Нм	±30	±6.5	±13	±20
Точность, Нм	0.005	0.01	0.036	–
Диапазон температурной компенсации, °С	+15...+35	0...+55	0...+55	–
Вес, г	440	347	350	510
Габариты, мм (диаметр × толщина)	75×37.5	72×56	72×56	82×54
Класс защищенности	IP65	IP67	IP67	–
Совместимость	Universal Robots CB series, роботы других производителей			

Как видно из таблицы – все датчики измеряют все три компонента как вектора сил, так и вектора моментов, имеют диапазон измерений не меньше 200 Н по силе и 6 Нм по моменту, примерно одинаковый вес и габариты, а также диапазон рабочих температур и класс защищенности, допускающие использование датчиков в системах не только в лабораторных условиях.



Рис. 3. Силомоментные датчики FT-300 от Robotiq, HEX-E и HEX-H от OnRobot и EOA FTN-AXIA 80 от Schunk

Для применения в разрабатываемой системе выберем датчик компании Robotiq, подходящий по диапазону измерения сил и моментов и выгодно отличающийся по точности измерения, а также обладающий подходящими габаритами, весом и классом защищенности. Его математическая модель представлена на рис. 4.

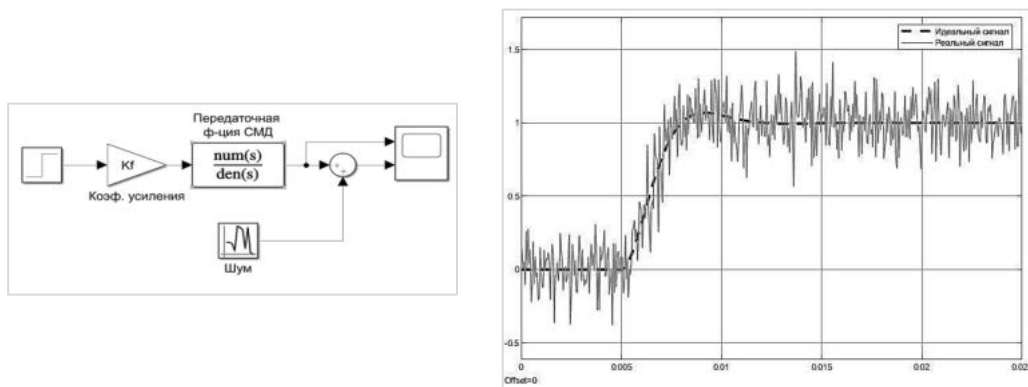


Рис. 4. Модель сигнала силомоментного датчика (СМД)

3. Разработка схемы системы силомоментного очувствления. На основе выбранных датчиков и в соответствии с рис. 1 была разработана схема системы силомоментного очувствления (представлена на рис. 5).

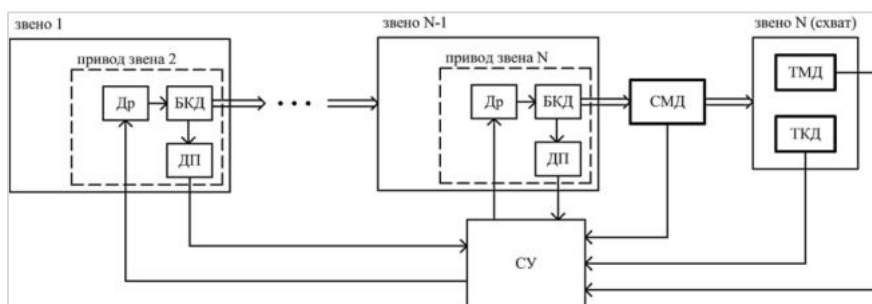


Рис. 5. Функциональная схема разработанной системы силомоментного очувствления

На схеме использованы следующие условные изображения: СУ – центральная система управления манипулятора, звено N – условное обозначение звеньев манипулятора, где N – конечное их число, БКД – бесколлекторный двигатель, Др – драйвер бесколлекторного двигателя.

теля, ДП – датчик положения, СМД – силомоментный датчик, ТМД – тензометрический датчик нагрузки, ТКД – тактильный датчик.

В результате проведенного исследования для силомоментного оцувствления манипуляционного робота выбран датчик FT-300, для тактильного - тензометрические датчики 2ФКП-3-400 и ФНАС.

Принцип действия системы заключается в следующем: в СУ формируется управляющий сигнал, подающийся в Др каждого звена, обеспечивая движение манипулятора в соответствии с желаемым законом. В свою очередь, по сигналам обратной связи от ДП, ТМД, ТКД и СМД этот желаемый закон регулируется таким образом, чтобы соблюсти заданные требования.

По сигналу от ДП контролируется положение звеньев манипулятора и пальцев схвата, в то время как ТКД регистрирует наличие или отсутствие объекта в схвате, ТМД измеряет силу контакта, а СМД определяет вектор воздействующих на схват сил и моментов.

На рис. 6 представлена модель манипуляционного робота [3], оснащенного системой силомоментного оцувствления, которая была разработана на основе показанной выше функциональной схемы.



Рис. 6. Модель манипуляционного робота, оснащенного системой силомоментного оцувствления

Заключение. В настоящей статье были рассмотрены основные виды тактильных датчиков, классифицированные по физическому принципу, лежащему в основе преобразования, выявлены их достоинства и недостатки. Также были проанализированы существующие на рынке экземпляры тактильных и силомоментных датчиков, приведены их характеристики и подобраны наиболее подходящие под заявленные условия. Была разработана система силомоментного оцувствления для имеющегося манипулятора, в которой используются выбранные датчики. Представленная система позволяет получать информацию о силах и моментах, действующих на захватное устройство манипуляционного робота, а также определять факт наличия или отсутствия касания поверхностей схвата с объектом манипулирования и измерять силу их контакта. При разработке системы управления тактильно-оцувствленным манипулятором эта информация позволит сформировать такой закон управления, который бы обеспечивал надёжное удержание объекта и при этом исключал бы его повреждение, что является необходимым во многих операциях манипулирования.

В перспективе, по обратной связи с силомоментного датчика будет возможно определять массо-инерционные характеристики объекта манипулирования, а с тактильного – локализацию контакта, распределение давления, форму объекта и его ориентацию в схвате, текстуру, проскальзывание, вибрацию.

Логическим продолжением этой работы является разработка системы управления с использованием информации от системы силомоментного очувствления.

Научный руководитель – старший преподаватель Ю. А. Жуков.

Библиографический список

1. Юревич Е. И. Сенсорные системы в робототехнике: учеб. пособие // СПб: Изд-во Политехн. ун-та, 2013. 100 с.
2. Howe R. D. Tactile sensing and control of robotic manipulation // *Advanced Robotics*. 1993. Т. 8. №. 3. С. 245 – 261.
3. Горбунов А. В. Передовые разработки в области универсальных модульных приводов прецизионных мехатронных систем: // *Материалы конференции «Открытые инновации 2020»*. Москва, 2020.
4. Новицкая Д. В. Калибровка силомоментного датчика схвата манипуляционного робота // *Молодежь. Техника. Космос: труды двенадцатой ОМНТК*. В 4 т. Т. 3. СПб: БГТУ «Военмех», 2020. С. 282 – 287.
5. Tiwana M.I., Redmond S.J., Lovell N.H. A review of tactile sensing technologies with applications in biomedical engineering // *Sensors and Actuators A: physical*. 2012. Т. 179. С. 17 – 31.
6. Nicholls H.R., Lee M.H. A survey of robot tactile sensing technology // *The International Journal of Robotics Research*. 1989. Т. 8. №. 3. С. 3 – 30.
7. Новожилов А., Ракитин В., Сафонов А. Тактильные датчики на полимерных материалах. Конструкции, технологии // *Электроника: Наука, технология, бизнес*. 2014. №. 2. С. 52 – 64.
8. Тензометрические датчики Sms Sensor: каталог продукции [Электронный ресурс]. URL: <http://sensor-sms.ru> (дата обращения: 15.03.2021).
9. Сайт компании Robotiq: силомоментный датчик FT 300-S [Электронный ресурс]. URL: https://robotiq.com/products/ft-300-force-torque-sensor?ref=nav_product_new_button (дата обращения: 16.03.2021).
10. Сайт компании Onrobot: силомоментный датчик HEX [Электронный ресурс]. URL: <https://onrobot.com/ru/izdeliya/6-osevoy-silomomentnyy-datchik-hex> (дата обращения: 16.03.2021).
11. Сайт компании Schunk: силомоментный датчик EOA FTN-AXIA 80 [Электронный ресурс]. URL: https://schunk.com/ru_en/gripping-systems/product/65849-1357169-eoa-ur3510-ftn-axia-80/ (дата обращения: 16.03.2021).

УДК 531.16

КИНЕМАТИКА МНОГОСЕКЦИОННОГО МЕХАНИЗМА НА БАЗЕ ГЕКСАПОДОВ

Н. П. Ретюнская, А. А. Деккер

Балтийский государственный технический университет «Военмех» им. Д. Ф. Устинова

На сегодняшний день большое внимание в области науки и техники обращено на высокоточные приборы и системы. Наиболее распространенными механизмами, обладающими сверхточностью, являются механизмы параллельной структуры (МПС). Использование высоко-

коточных результатов при позиционировании, наведении, стабилизации и виброгашении позволяют применять МПС в следующих областях: космическая, авиационная и подводная техники, точное приборостроение, прецизионное станкостроение, фото- и видеотехника, нанотехнологии, измерительные устройства, системы адаптивного производства.

В работе автора [1] представлены основные особенности МПС, благодаря которым они нашли широкое применение. Среди них:

- высокая точность позиционирования;
- возможность создавать конструкции с повышенной жёсткостью, при этом сохраняя относительно небольшую массу;
- геометрическая симметрия и простая модульная конструкция, выполняемая на единой базе (платформы, шарниры, датчики, приводы, штоки и т.п.), что позволяет усовершенствовать производство.

Одним из самых распространённых механизмов со структурой параллельного типа является гексапод. В этой работе рассматривается модель трехсекционного механизма, построенного на базе гексаподов.

В отличие от обычной конструкции гексапода, которая представлена двумя платформами и шестью стержнями-штангами, трехсекционный механизм имеет четыре основания и восемнадцать ног-штанг (рис. 1).



Рис. 1. 3D-модель прототипа многосекционного механизма

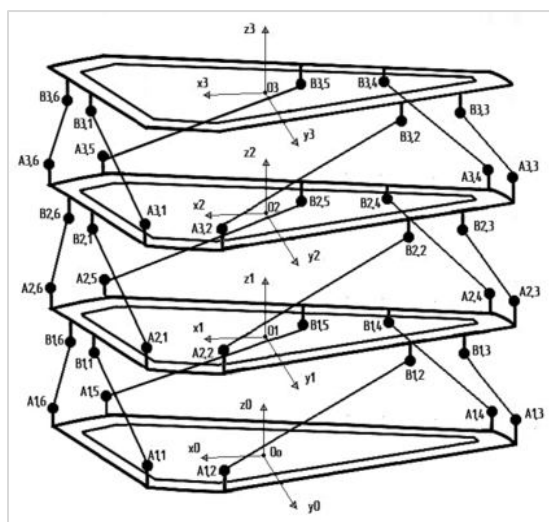


Рис. 2. Структура многосекционного манипулятора параллельной кинематики

Механизм действия этого устройства следующий: с помощью приводов, расположенных в каждой ноге, формируется линейное перемещение первой полуштанги относительно второй полуштанги. Это движение реализуется за счет механической передачи в конструкции ноги, преобразующей вращательное движение вала двигателя в линейное (поступательное) движение полуштанги.

Несмотря на популярность использования МПС, их исследование всё еще продолжается. Остаются много нерешенных проблем, связанных с возможностью качественно решать задачи, характерные для параллельных структур [2, 3]. Эти проблемы часто встречаются в таких разделах как:

1. выбор наилучшего алгоритма разработки;
2. определение оптимальных геометрических параметров конструкции;

3. разработка математических моделей и методов расчета механизмов;
4. поиск критериев оптимизации системы.

Главной сложностью при создании данного трехсекционного механизма является построение математической модели. Для успешной реализации такой схемы необходимо произвести кинематический расчет механизма, решить прямую и обратную задачу кинематики.

Прямая задача. Прямая задача кинематики заключается в определении положения рабочего органа механизма при заданной ориентации его звеньев.

Для решения задачи введем неподвижную систему координат $0_0X_0Y_0Z_0$ и свяжем её с основанием первой секции. Для остальных подвижных платформ введем системы координат $0_iX_iY_iZ_i$, где i – номер секции в механизме (рис. 2). Под рабочим органом механизма будем рассматривать центр подвижной платформы третьей секции.

Чтобы связать абсолютно неподвижную и относительно подвижные системы координат введем матричное преобразование в однородных координатах.

Тогда общий вид матрицы однородного преобразования:

$$T_i(X_i) = \begin{bmatrix} R_i & p_i \\ 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad (1)$$

где $X_i = [X_{0i} \ Y_{0i} \ Z_{0i} \ \alpha_i \ \beta_i \ \gamma_i]$ – вектор, определяющий положение и ориентацию секции; R_i – матрица поворота (3x3); p_i – вектор-столбец координат начала системы координат подвижной платформы, связанной с i -ой секцией.

Для определения матрицы поворота необходимо вычислить координаты центра платформы на заданном векторе обобщенных координат секции механизма. Данные расчеты были выполнены в работе [4].

На основании полученных результатов была преобразована матрица однородных преобразований для i -ой секции механизма:

$$T_i(X_i) = \begin{bmatrix} \cos \alpha_{0i} X_i & \cos \alpha_{0i} Y_i & \cos \alpha_{0i} Z_i & X_{0i} \\ \cos \beta_{0i} X_i & \cos \beta_{0i} Y_i & \cos \beta_{0i} Z_i & Y_{0i} \\ \cos \gamma_{0i} X_i & \cos \gamma_{0i} Y_i & \cos \gamma_{0i} Z_i & Z_{0i} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

В формульной записи решением прямой задачи кинематики будет нахождение S – вектора положения рабочего органа в системе координат $0_0X_0Y_0Z_0$:

$$S = T_n(q) \cdot s = F(q) \quad (3)$$

Здесь s – обобщенный вектор положения характерной точки рабочего органа в системе координат $0_{n-1}X_{n-1}Y_{n-1}Z_{n-1}$; $T_n = T_1(X_1) \cdot T_2(X_2) \cdot \dots \cdot T_{n-1}(X_{n-1})$ – однородная матрица, определяющая положение системы координат $0_{n-1}X_{n-1}Y_{n-1}Z_{n-1}$ в системе координат $0_0X_0Y_0Z_0$.

Таким образом, решение прямой задачи кинематики сводится к нахождению однородной матрицы T_n и умножения ее на вектор s . Само решение задачи будет продолжаться до тех пор, пока не выполнится неравенство $\|F(q)\| \leq \varepsilon$, где ε – заданная точность.

Обратная задача. Решением обратной задачи кинематики является нахождение расстояния между точками крепления шарниров основания и платформы. Для механизма, изображенного на рис. 2, это расстояние представлено между точками $A_{i,j}$ и $B_{i,j}$, где j – номер шарнира платформы в секции.

Для решения обратной задачи определим вектор однородных координат j -го шарнира i -ой секции в системе координат $0_0X_0Y_0Z_0$:

$$r_{B_j} = T \cdot r'_{B_i}, \quad (4)$$

где r'_{B_i} – вектор однородных координат j -го шарнира платформы в подвижной системе координат, связанной с этой секцией.

Для определения значения вектора r_{B_j} рассмотрим рис. 3.

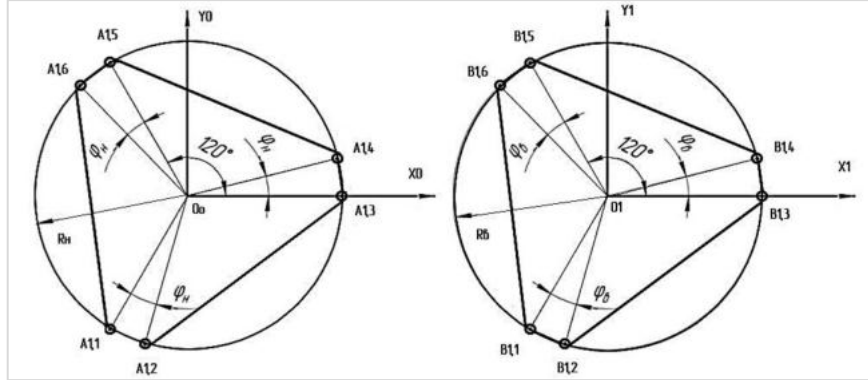


Рис. 3. Схемы неподвижного основания и подвижной платформы 1-ой секции

Введем обозначения:

A_j – шарнир на нижней платформе 1-ой секции;

B_j – шарнир на верхней платформе 1-ой секции;

φ_n – угол между шарнирами A_1 и A_2 , A_3 и A_4 , A_5 и A_6 ;

φ_b – угол между шарнирами B_1 и B_2 , B_3 и B_4 , B_5 и B_6 ;

R_n – радиус нижней платформы (расстояние от центра O_0 до шарнира A_j);

R_b – радиус верхней платформы (расстояние от центра O_1 до шарнира B_j).

Тогда координаты шарниров нижней платформы в абсолютной системе координат:

$$\begin{aligned} A_1 &= (R_n, 0, 0)^T, \\ A_2 &= (R_n \cos(\varphi_n), R_n \sin(\varphi_n), 0)^T, \\ A_3 &= (R_n \cos(120), R_n \sin(120), 0)^T, \\ A_4 &= (R_n \cos(120 + \varphi_n), R_n \sin(120 + \varphi_n), 0)^T, \\ A_5 &= (R_n \cos(240), R_n \sin(240), 0)^T, \\ A_6 &= (R_n \cos(240 + \varphi_n), R_n \sin(240 + \varphi_n), 0)^T. \end{aligned} \quad (5)$$

Координаты шарниров верхней платформы в подвижной системе координат:

$$\begin{aligned} B_1 &= (R_b, 0, 0)^T, \\ B_2 &= (R_b \cos(\varphi_b), R_b \sin(\varphi_b), 0)^T, \\ B_3 &= (R_b \cos(120), R_b \sin(120), 0)^T, \\ B_4 &= (R_b \cos(120 + \varphi_b), R_b \sin(120 + \varphi_b), 0)^T, \\ B_5 &= (R_b \cos(240), R_b \sin(240), 0)^T, \\ B_6 &= (R_b \cos(240 + \varphi_b), R_b \sin(240 + \varphi_b), 0)^T. \end{aligned} \quad (6)$$

Для получения вектора однородных координат j -го шарнира платформы в подвижной системе координат $(r_{B_j}^1)$ добавим к B_j 4-ую координату, равную 1.

Зная r_{A_j} и r_{B_j} , можно вычислить искомую длину ноги-штанги L_{0j} :

$$L_{0j} = \sqrt{(r_{A_j} - r_{B_j})^T \cdot (r_{A_j} - r_{B_j})} \quad (7)$$

В многосекционных механизмах, построенных на базе гексаподов, для удобства управления вычисляют не абсолютные длины штанг, а их изменение относительно «нулевой» конфигурации гексапода:

$$\Delta L_i = L_{0j} - L_0, \quad (8)$$

где L_0 – длина ноги в нулевой конфигурации симметричного гексапода.

Результаты решения обратной задачи кинематики, в частности формулу (8), используют для расчета задающего воздействия в модели системы управления движением многосекционного механизма.

Выводы. В работе приведены конструкции разрабатываемого трехсекционного механизма с параллельной структурой, решения прямой и обратной задачи кинематики для данного механизма. На основании представленных результатов возможно дальнейшее исследование и создание приводов многосекционных механизмов на базе гексаподов.

Библиографический список

1. Бушуев В.В., Хольшев И.Г. Механизмы параллельной структуры в машиностроении // СТИН. №1. 2001. С. 3–8.
- 1 Рыбак Л.А., Ержуков В.В, Чичварина А.В. Эффективные методы решения задач кинематики и динамики робота-станка параллельной структуры / Л. А. Рыбак [и др.]. М., 2011. 148 с.
- 2 Кун С., Госселин К. Структурный синтез параллельных механизмов / пер. с англ. Л. А. Рыбак, А.В. Чичварина под ред. А.В. Синева. – М.: ФИЗМАТЛИТ. 2012. 276 с.
- 3 Лапиков А.Л., Пащенко В.Н. Алгоритм решения прямой задачи кинематики многосекционного манипулятора параллельной структуры. Наука и Образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн. 2014. №12. С. 128–136.

УДК 62-529

ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙРОИНТЕРФЕЙСНЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ В РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВАХ

И. К. Тукуреев

Балтийский государственный технический университет «Военмех» им. Д. Ф. Устинова

Управление различными объектами при помощи сигналов мозговой активности является привлекательной возможностью для человека. Технологии, основанные на управлении при помощи нейрокомпьютерного интерфейса (НКИ), находят применение в реабилитации, протезировании, системах дополненной реальности, а также в сфере военных технологий. Решения на основе НКИ применяются и в качестве управляющей системы мехатронными и робототехническими устройствами.

НКИ представляет собой систему, в которой при помощи средств электроэнцефалографии снимаются и обрабатываются данные активности головного мозга, а затем, на основе обработанных данных, формируется управляющий сигнал. Данные активности мозга сначала проходят предобработку, в результате которой получается набор признаков, далее среди этого

набора выделяется соответствие определённому сигналу управления исполнительным устройством. Наблюдение за работой исполнительного устройства формирует обратную связь, которая позволяет корректировать управляющий сигнал. По способу соединения электродов с мозгом нейроинтерфейсы можно классифицировать следующим образом: инвазивные – электроды вживляются непосредственно в мозг; полунинвазивные – электроды располагаются на открытой поверхности мозга; неинвазивные – датчики регистрируют электрическую активность с поверхности головы, не проникая в мозг. Инвазивный способ самый точный, однако, в этом случае, клетки мозга со временем отмирают. Неинвазивный способ имеет самую низкую точность, но не представляет опасность использования.

На сегодняшний день представлено множество различных реализаций нейроинтерфейсных систем управления.

В январе 2019 года команда доктора Стэна Андерсона из университета Джона Хопкинса имплантировала внутрикорткальные датчики на основе микроэлектродов по обе стороны мозга пациента, в области, которые контролируют движение и сенсорное ощущение. В рамках операции исследователи разработали метод определения наилучшего места для размещения электродов с использованием картирования мозговой активности во время операции в реальном времени [1]. Исследователи были впечатлены успехами в течение первого года тестирования и хотели еще больше раздвинуть границы того, что может быть достигнуто. Поэтому они запустили параллельную линию исследований для разработки стратегий, обеспечивающих одновременное управление роботом и сенсорную обратную связь с обеих рук с использованием нейронной стимуляции. Они намеревались разработать замкнутую систему, которая объединяет искусственный интеллект, робототехнику и интерфейс мозг-компьютер. В случае, когда пациент подавал себе десерт, система позволяла ему управлять движениями, необходимыми для разрезания пищи вилкой и ножом, а также для самостоятельного кормления. Конечной целью является упрощение выполнения таких действий, как прием пищи, передача управления роботу для выполнения одной части работы без участия пользователя [2].

В России компанией Neurobotics предлагается нейротренажёр, предназначенный для реабилитации после инсульта, с нейротравмами головы, приведшими к ухудшению двигательного контроля в пальцах руки. Устройство представляет собой экзоскелет для кисти и пальцев руки с противопоставленным первым пальцем и активными электрическими приводами для всех экзопальцев, к которым с помощью фиксаторов прикрепляются пальцы пользователя, и предоставляет возможность управления за счёт сигналов от интерфейса мозг-компьютер [3].

Таблица 1
Сравнение нейроинтерфейсов

Устройство	Число ЭЭГ каналов	Открытое ПО	Габариты, длина × ширина, мм	Функции	Стоимость
TGAM	1	–	27,9×15,2	Обнаружение моргания глаз, анализ качества сигнала, определение состояния сознания	Договорная [4]
Cyton	8	+	50,8×50,8	Программное усиление сигнала, связь посредством радиомодуля RFDuino, встроенный акселерометр	499,99 \$ [5]
BPM-kit	2	–	33,8×10,7	Программное усиление сигнала, ПО для взаимодействия с набором и визуализации сигналов (Python, Matlab)	2190 руб. [6]

Среди готовых решений, предоставляющих возможность разработки устройств на базе нейрокомпьютерного интерфейса можно выделить следующие: модуль датчика мозговых волн TGAM от компании NeuroSky, биосенсорная плата Cyton, являющаяся разработкой платформы интерфейса мозг-компьютер OpenBCI и набор BPM-kit от компании Elemento. Сравнение представлено в таблице 1.

На основе имеющейся информации об аналогах разработана нейроинтерфейсная система управления колёсным роботом, структурная схема представлена на рис. 1.

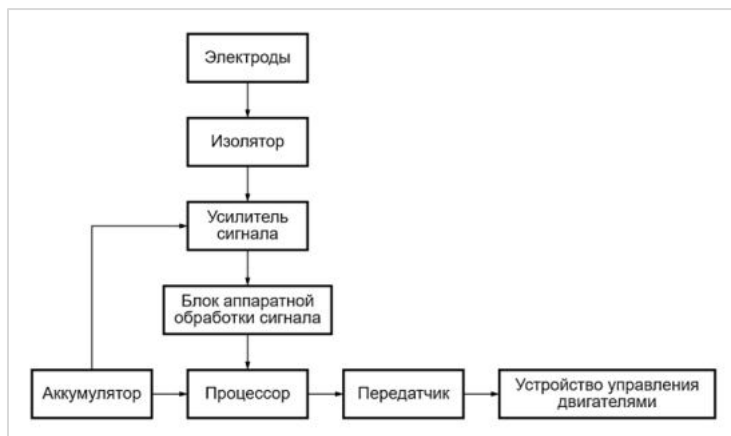


Рис. 1. Структурная схема нейроинтерфейсной системы управления колёсным роботом

Задача состоит в снятии сигналов, обработке электроэнцефалограммы и формировании управляющего воздействия на устройство управления двигателями. Направлениями применения такого робота могут стать помощь в реабилитации больным, перенесшим инсульт, тренировка будущих нейропилотов (людей, способных управлять различными устройствами при помощи мозговой активности), а также такой робот может применяться в качестве радиуправляемой машины.

Анализ соответствующих продуктов показал, что в дальнейших разработках необходимо стремиться к уменьшению себестоимости изделия, габаритов, расширению программного потенциала и увеличению числа ЭЭГ каналов – количества точек на поверхности головы, с которых можно одновременно снимать электрический сигнал.

Научный руководитель – Н. С. Слободзян.

Библиографический список

1. In a First, Patient Controls Two Prosthetic Arms with His Thoughts [Электронный ресурс] // Официальный сайт университета Джона Хопкинса; URL: <https://www.jhuapl.edu/PressRelease/191016> (дата обращения: 04.02.2021).
2. Quadriplegic Patient Uses Brain Signals to Feed Himself with Two Advanced Prosthetic Arms [Электронный ресурс] // Официальный сайт университета Джона Хопкинса; URL: <https://www.jhuapl.edu/PressRelease/201210-APL-advanced-prosthetic-limb-brain-control-Chmielewski-feeds-himself> (дата обращения: 04.02.2021).
3. Нейроботикс – Нейротренажер – АПК для нейрореабилитации [Электронный ресурс] // Официальный сайт компании Neurobotics; URL: <https://neurobotics.ru/catalog/biomexanika/nejrotrenazher.html> (дата обращения: 24.03.2021).

4. EEG: TGAM [Электронный ресурс] // Интернет-магазин компании Neurosky; URL: <https://store.neurosky.com/products/eeg-tgam> (дата обращения: 04.02.2021).

5. Cyton Biosensing Board (8-channels) [Электронный ресурс] // Интернет-магазин платформы OpenBCI; URL: <https://docs.openbci.com/docs/02Cyton/CytonSpecs> (дата обращения: 13.03.2021).

6. Набор ЭМГ/ЭКГ/ЭЭГ датчиков BPM-kit [Электронный ресурс] // Официальный сайт компании-производителя электроники для решения задач в области регистрации и обработки биоэлектрических сигналов Elemuо; URL: https://elemuо.com/producty/nabor_bpm_kit1_1 (дата обращения: 15.03.2021).

УДК 681.883.04

РОЙ САМООРГАНИЗУЮЩИХСЯ МОРСКИХ РОБОТОВ ДЛЯ СОЗДАНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННО-РАСПРЕДЕЛЕННОЙ НАБЛЮДАТЕЛЬНОЙ СЕТИ В ОБЕСПЕЧЕНИИ СИСТЕМЫ ОПЕРАТИВНОЙ ОКЕАНОГРАФИИ

П. Ю. Шмаков¹, Н. Н. Жильцов¹, А. Д. Ступкин², Н. С. Максимов²

¹*НИЦ РЭВ и ФИР ОСИС ВМФ ВУНЦ ВМФ «Военно-морская академия» им. Н. Г. Кузнецова*

²*ВУНЦ ВМФ «Военно-морская академия» им. Н. Г. Кузнецова*

Долгое время основным источником информации о состоянии океана являлся сбор данных экспедиционных измерений.

Исследовательские суда, отправлявшиеся в экспедиции, занимались сбором данных, затем полученные измерения направлялись в единый центр.

Поскольку это были сравнительно малые объемы полученных данных, для прогнозирования состояния океана необходимо было разработать новую методику сбора данных [1].

На рубеже XX – XXI веков, прогноз состояния мирового океана вышел на новый уровень. С появлением спутниковых каналов связи и развитием спутниковой навигации в целом, а также миниатюризацией вычислительной техники и датчиков энергопотребления начали появляться предпосылки к созданию новой технологии сбора океанографической информации, основанной не на климатических экспедиционных данных пройденных маршрутов исследовательскими судами, а на реальных измерениях параметров океана в режиме, близком к реальному.

Возник вопрос о необходимости создания принципиально новых методов и технологий, а также реализация техническим средств экспериментальных исследований по созданию измерительных приборов, позволяющих:

1. производить измерения в реальном времени (здесь и сейчас) горизонтальных и вертикальных скоростей течений в водной толще;
2. определять концентрацию минеральной взвеси и взвешенного органического вещества в толще морской воды;
3. регистрировать наличие растворенных в морской воде веществ и их концентрацию.

Решить эти вновь возникшие вопросы на современном этапе позволяет новое направление науки и техники мехатроника.

Мехатроника объединяет в себе применение механики, электроники и вычислительной техники для создания электромеханических изделий и систем с помощью комплексного подхода к проектированию и производству принципиально новых систем, комплексов, и машин с интеллектуальным управлением их функциональными движениями [2].

Структура мехатроники в современном представлении представлена на рис.1.



Рис. 1. Структура мехатроники в современном представлении

Не так давно ряд стран произвели разработку и внедрение в практику океанографических исследований. В последнее время в ряде стран были разработаны и внедрены в практику океанографических исследований «ныряющие» дрейфующие буи и буи-профилографы, позволяющие анализировать состояние мирового океана на больших глубинах, достигающих нескольких километров [1].

Такие буи посредством изменения своей плавучести могут держаться на поверхности, либо же уходить на глубину и вновь всплывать, собирая при этом данные измерений.

Встроенные микропроцессоры управляют их действиями, помимо этого, дрейфующие буи оборудованы датчиками температуры, солености, содержания растворенного в воде кислорода, гидростатического давления, удельной электрической проводимости и флюоресценции. Собранные данные отправляются на спутник, а затем в центры сбора наблюдений.

Безусловным лидером в области конструирования таких устройств в настоящее время является международный проект «ARGO». Компания «ARGO» производит разработку и создание соответствующих автономных буй-поплавков, способных на многократные погружения на глубину и выныривания для передачи измеренных параметров морской воды по спутниковому каналу связи.

Данная технология реализована следующим образом:

Автономный дрейфующий буй-поплавок с отрицательной плавучестью сбрасывается с корабля (судна) или самолета в точке с заданными координатами.

После попадания в воду каждый зонд проекта «ARGO» находится на поверхности несколько часов, измеряя температуру и соленость воды. Затем, по команде собственного микропроцессора, начинается погружение на два километра со скоростью около 10 см/с. Это занимает более 6 часов, после чего зонд дрейфует 9 дней в глубоководных течениях.

На 9 день на установленной глубине переключается датчик гидростатического давления, вследствие чего автономный дрейфующий буй меняет свою плавучесть и всплывает на поверхность воды, попутно измеряя гидрофизические параметры – окружающую температуру и соленость воды.

На поверхности воды активируется спутниковый канал связи для передачи собранных данных в центр приема и обработки данных измерений. Океанские зонды дрейфуют на поверхности воды до полусуток, а затем опять погружаются. Добыча этих данных (от 2 км до поверхности, в случайной точке океана) и есть главная задача зонда.

Схема перемещения буй-поплавков АРГО показана на рис. 2.

Автономный дрейфующий буй «ARGO» состоит из антенны, блока управления, элементов питания и гидравлической системы, позволяющей изменять плавучесть устройства за счет изменения эффективной плотности [3].

Схема устройства дрейфующего буя «ARGO» приведена на рис. 3.

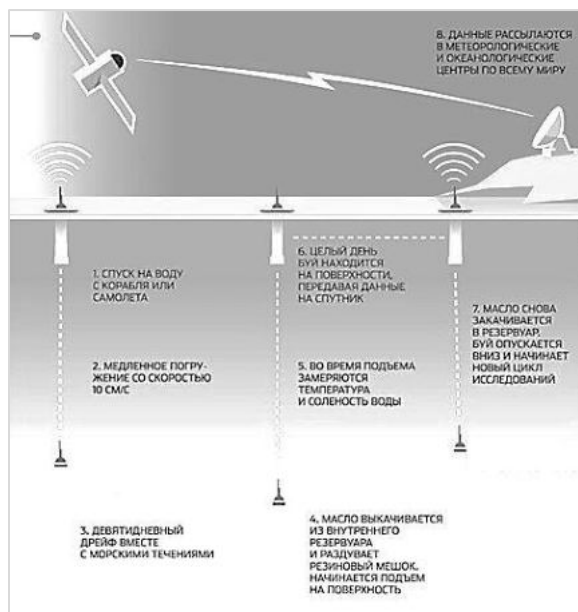


Рис. 2. Схема перемещения буев «ARGO»



Рис. 3. Схема устройства дрейфующего буя «ARGO»

При этом использование общей процедуры проверки качества баз данных позволяет обеспечивать потребителей метаданными, данными и продукцией высокого качества, которые могут усвоить современные прогностические модели и рассчитать прогностические поля гидродинамических параметров с установленным шагом в узлах регулярной сетки. Потребитель может впервые получать не климатическую усредненную информацию, а фактические данные, полученные оперативно по спутниковым каналам связи, а прогноз необходимой заблаговременности.

Таким образом, оперативная океанография на современном этапе включает в себя широкий спектр задач: создание непрерывных систем мониторинга, гидродинамическое моделирование динамики вод, оперативная передача данных и усвоение прогностическими моделями, хранение и обработку данных наблюдений, преобразование расчётных данных к виду, удобному пользователям.

Сейчас, благодаря появлению автономных обитаемых подводных аппаратов (АНПА) – роботизированных технических средств измерения, изучение океана вышло на новый уровень.

Новая эра океанографических исследований будет основана на появлении и использовании множества различных инновационных технологий для одновременного и непрерывного изучения большого количества разнообразных процессов, которые происходят в океане.

Некоторые из этих технологий позволят удаленно обнаруживать локальные критические изменения, имеющие место в некоторых частях океана. Быстрая реконфигурация основных матриц датчиков, подключенных к беспроводному Интернету, позволит нам выявлять, отображать, документировать и измерять сильные и ранее недоступные для научных исследований феномены, такие как океанские вихри, подводные извергающиеся вулканы, подводные оползни и множество других.

В перспективе для точной работы моделей необходим синхронный непрерывный поток измеренных данных, желательно равномерно распределенных по всему Мировому океану.

Поплавки «Argo» это обеспечить не могут, так как дрейфуют по течению и не имеют возможность оставаться на месте.

Перспектива в создании роботизированных комплексов на основе роя дешевых автономных самоорганизующихся морских роботов, которые взаимодействовали бы друг с другом, создавали, и поддерживали наблюдательную сеть с заданными параметрами на постоянной основе, измеряя не только температуру и электропроводность (соленость) морской воды, но и другие расширенные параметры (параметры течения, прозрачность, содержание кислорода, растворенных веществ, планктона, взвесей и т.д.) необходимых для решения прикладных задач.

Но модели рассчитывают прогностические поля в узлах регулярной сетки, а фактические наблюдения проводятся хаотически и не синхронно. Чтобы привести эти разрозненные наблюдения к значениям в узлах регулярной сетки необходимо производить интерполяцию данных, что приводит к искажению исходных данных, а в итоге сказывается на качестве прогноза.

Поэтому создание роя самоорганизующихся морских роботов (рис.4) позволит создать такую сеть, при которой эти минироботы, взаимодействуя между собой синхронно проводили бы наблюдения в заданных узлах регулярной сетки, поддерживая наблюдательную сеть с заданными параметрами на постоянной основе.



Рис. 4. Рой самоорганизующихся морских ботов

Основным преимуществом станет дистанционное управление флотом автономных подводных устройств и получение данных в реальном времени.

Появится возможность документирования состояния и измерения потоков в океане, одновременно и в реальном времени, в различных масштабах времени и пространства, независимо от глубины, энергии, подвижности или сложности задействованных процессов. Измерения должны проводиться при помощи совместно расположенных матриц датчиков различных типов, которые управляются исследователями в периоды от десятилетий до столетий. Данные должны немедленно собираться, архивироваться, отображаться и сравниваться с моделями, четко настроенными для работы с уровнями сложности в масштабах, сопоставимых по времени и пространству с фактическими измерениями [4].

Это позволит не только регулярно получать необходимую информацию о состоянии Мирового океана, но и повысить эффективность прогноза и его заблаговременность для возможности принятия решений по оперативному океанографическому обслуживанию различных групп потребителей информацией о фактическом и ожидаемом гидрометеорологическом состоянии морей России и Мирового океана.

Данная информация будет использоваться для предупреждения о стихийных явлениях, обеспечивать охраняемые районы моря, определять критические места и процессы развития биоресурсов, отслеживать вредные цветения водорослей и разливы нефти.

В конечном счете наличие прогностических моделей функционирования океана на основании многолетнего уточнения сложных компьютерных моделей высококачественными наблюдениями распределенных сетей датчиков сформирует основы для более глубокого познания наиболее мощной системы планеты — Мирового океана.

В ближайшие десятилетия в большинстве стран в прибрежных зонах их территориальных морей будут внедрены системы этого типа. Так как эти системы становятся все более сложными, а данные становятся постоянно доступными с помощью беспроводного Интернета, последний станет самым мощным инструментом океанографического исследования на планете.

Рассмотрим подробнее некоторые разработки самоорганизующегося роя роботов.

1. Проект CoCoRo. Проект CoCoRo представляет собой рой из 41 робота, наделенных собственным и групповым интеллектом. Каждый робот в какой-то степени автономен, при этом рой в целом способен выполнять те или иные поставленные перед ним задачи.

Проект CoCoRo (Collective Cognitive Robots) спонсирует Европейская Комиссия. Рой CoCoRo состоит из двух типов самодвижущихся аппаратов – 20 ловких роботов, напоминающих рыб, которые называются Jeff (Джефф) и 20 округлых роботов желто-белой расцветки под названием Lily (Лили).

41-м участником роя является база, плавающая по поверхности водоема.

Внешний вид автономных подводных самодвижущихся аппаратов проекта CoCoRo приведен на рис. 5.

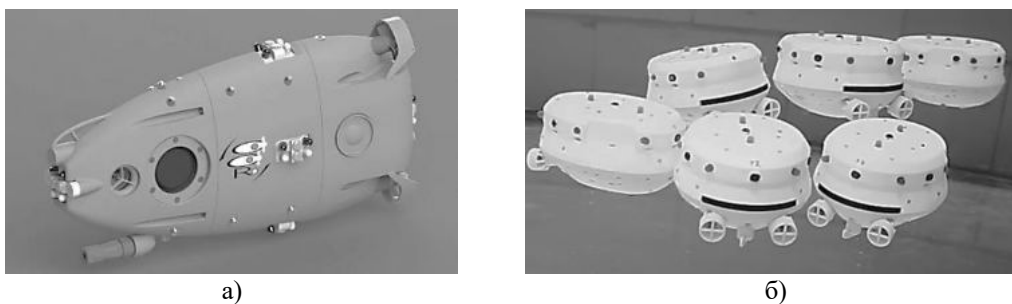


Рис. 5. Автономные подводные самодвижущиеся аппараты проекта CoCoRo: а) Jeff; б) Lily

Джеффы весьма живучи и сильны, они могут, например, плыть против течения со скоростью 1 м/с.

Лили не так сильны, они обычно держатся в поверхностном слое воды стайкой, обеспечивая связь между роботами Джефф, базовой станцией и внешним миром. Роботы Лили стараются всегда оставаться подле друг с друга, постоянно обмениваясь световыми импульсами, как это делают, например, светлячки. Такие сигналы передаются от одного участника роя к другому, формируя «волну», проходящую через всю группу. Эти волны удерживают роботов Лили в составе единой компактной группы, которая также координирует рой и движется в заданном направлении.

Каждый автономный подводный аппарат способен функционировать самостоятельно, при этом отдельные особи и группы обмениваются информацией между собой. Децентрализованный рой принимает решения, основываясь на совокупности имеющейся информации. Преимущества такой организации те же, что у любого роя: адаптивность, гибкость и устойчивость к сбоям или отказам любого отдельного робота [5].

2. Проект BlueBots. Исследователи Гарвардского университета разработали подводных роботов, которые могут плавать синхронно, как рыбы в стае. Роботы, получили название Bluebots, по форме напоминают рыб и оснащаются двумя широкоугольными камерами и тремя яркими синими светодиодами. Каждый робот умеет определять расстояние от себя до других Bluebot, а также направление их движения в бассейне относительно себя - для этого комбинируется и анализируется изображение от обеих камер. Используя специальные алгоритмы для анализа этих данных, рой роботов может собираться вместе, рассеиваться или совместно плавать по кругу.

При необходимости каждый BlueBot вычисляет положение своих соседей и двигается к центру, тем самым собираясь в рой. Для рассредоточения подводные роботы BlueBot действуют по аналогичной схеме, следуя за огнями светодиодов, установленных на каждом роботе [6].

Внешний вид и устройство автономных подводных самодвижущихся аппаратов проекта BlueBots приведен на рис. 6.

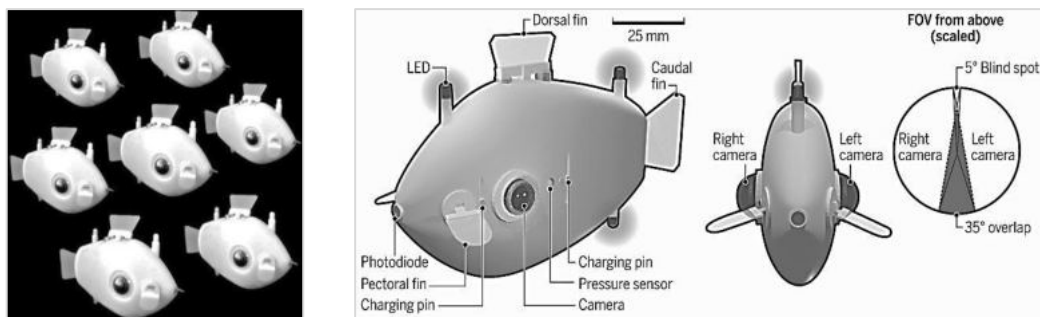


Рис. 6. Автономные подводные самодвижущиеся аппараты проекта BlueBots

3. Подводные роботы M-AUE. Институт океанографии Скриппса предложил исследовать океан с помощью роя подводных роботов под названием M-AUE (Mini-Autonomous Underwater Explorers).

Устройства M-AUE – это работающие в составе группы миниатюрные подводные минибуи. Задача роя - записать 3D-картину внутренних океанических волн.

Рой M-AUE состоит из 16 роботов, представляющих собой небольшой цилиндр с антенной на одном конце и набором сенсоров - на другой.

Внутреннее течение океана то заставляет роботов собраться в плотную кучку, то разбрасывает их в стороны.

Данные, получаемые с роботов можно будет задействовать в различных целях - от моделирования поведения нефтяного пятна до отслеживания пути опасного загрязнения в океане.

Встроенные микрофоны позволяют записывать звуки, издаваемые китами и дельфинами, рой действует как одно большое ухо. Каждый робот оснащен также датчиком температуры, давления и рядом других.

Рой уже успели использовать для проверки математической модели планктона, дрейфующего под воздействием океанических течений, исследования показали, что модель оказалась весьма точной.

Ученые в целом довольны результатами, но планируют выпуск следующего поколения M-AUE, которые возможно окажутся дешевле, несмотря на то, что как ожидается, у них будет более развитая функциональность. В планах ученых расширить подводный рой до сотни или более роботов, чтобы картина получалась еще более наглядной и точной [7].

Внешний вид роя автономных подводных роботов M-AUE приведен на рис.7.

Создание роя самоорганизующихся морских роботов позволит создать такую сеть, способную обеспечить оперативное получение не только фактических данных измерений, полу-

ченных с помощью спутниковых каналов связи, но и дать исходные данные для математических моделей, рассчитывающих прогностические поля гидрофизических параметров морской среды заблаговременно.

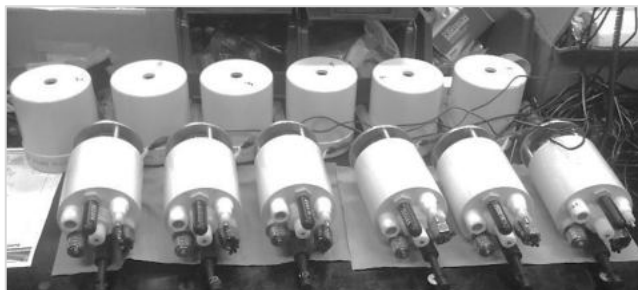


Рис. 7. Автономные подводные роботы M-AUE

В перспективе данные разработки позволят создать такую наблюдательную сеть в заданных узлах регулярной сетки, которая повысит эффективность прогноза и его заблаговременность для возможности принятия решений по оперативному океанографическому обслуживанию различных групп потребителей.

Библиографический список

1. Что нам готовит океан? В России будет создана собственная система морских прогнозов [Электронный ресурс] // Российский научный Фонд. URL: https://rscf.ru/news/media/chto_nam_gotovit_okean_v_rossii_budet_sozdana_sobstvennaya_sistema_morskikh_prognozov/ (дата обращения 22.03.2021).
2. Грабченко А. И., Клепиков В. Б., Доброскок В. Л., Крыжский Г. К., Анищенко Н. В., Кутовой Ю. Н., Пиеничников Д. А., Гаращенко Я. Н. Введение в мехатронику: учебное пособие. Х.: НТУ «ХПИ», 2014. 264 с.
3. Жмур В.В. Зачем вода течет в воде? [Электронный ресурс] // Популярная механика. 2013. №7. URL: https://elementy.ru/nauchno-populyarnaya_biblioteka/432028/zachem_voda_techet_v_vode (дата обращения 22.03.2021).
4. Делейни Д. Р., Барга Р. С. Будущее океанологии – 2020 год [Электронный ресурс] // Четвертая парадигма. Земля и окружающая среда; URL: http://download.microsoft.com/documents/rus/devcenter/fourthparadigm/Part%201_5_A%202020%20vision%20for%20ocean%20science%20_RU.pdf (дата обращения: 22.03.2021).
5. Бойко А. Роботы Проект CoCoRo. Рой роботов - подводные лодки с групповым поведением [Электронный ресурс] // MForum; URL: <http://www.mforum.ru/news/article/111538.htm> (дата обращения 22.03.2021).
6. Ученые из Гарварда научили рой роботов плавать как косяк рыб [Электронный ресурс] // Robogeek; URL: <https://robogeek.ru/podvodnye-i-nadvodnye-roboty/uchenye-iz-garvarda-nauchili-roi-robotov-plavat-kak-kosyak-ryb> (дата обращения 22.03.2021).
7. Бойко А. Институт океанологии Скриппса исследует океан с помощью роя подводных роботов [Электронный ресурс] // Robotrends; URL: <http://www.mforum.ru/news/article/111538.htm>

3-ОСЕВОЙ ФРЕЗЕРНЫЙ СТАНОК С ЧПУ ДЛЯ 3D-ПРИНТЕРА

Д. В. Шаповалов, С. А. Мешков

Балтийский государственный технический университет «Военмех» им. Д. Ф. Устинова

Аддитивное производство также известно как 3D-печать. 3D-печать достигается за счет преобразования цифрового кода в видимую твердую 3D-модель. Последовательные слои печатаются один за другим путем укладки материала. Это называется аддитивным производством. Материалы для печати могут быть пластиковыми, нейлоновыми, металлическими и многими другими; мы можем найти его применение в аэрокосмической отрасли, медицине, автоматизации, производстве, архитектурном проектировании и многих других. Применение во многих из этих областей очень быстро растет, а также является экономически эффективным. Использование 3D-печати выгодно для таких отраслей, как медицина, авиакосмическая промышленность, производство, автоматизация, а также для товаров широкого потребления. Таким образом, мы предлагаем захватывающую технологию, с которой с нетерпением ждем этого документа, в котором исследуется рабочий процесс 3D-печати и ее приложения в современном мире, а также в будущем.

В последние годы трехмерная печать стала одной из стремительных технологических тенденций в современном мире. Рост настолько стремительный, что его также можно назвать «эрой 3D-принтеров». Это одна из технологий, которая, как говорят, подверглась влиянию, и ее можно рассматривать как бум в истории человечества, чем по сравнению с любыми другими областями. В этом революционном методе струйной технологии была сделана отдельная печать деталей, и каждая последующая часть будет склеена слой за слоем для создания 3D-модели.

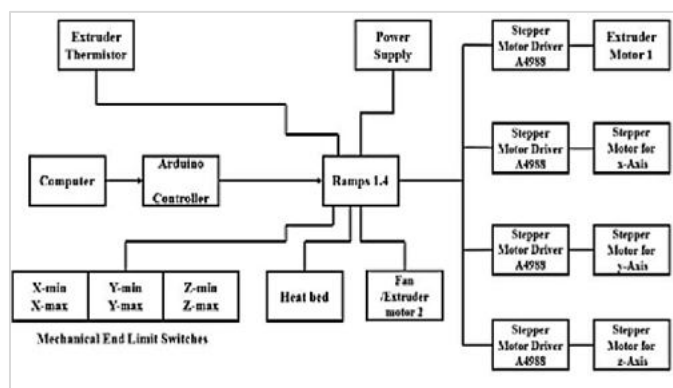


Рис.1 Блок-схема 3D-принтера

Это была очень утомительная и трудная задача, к тому же требовавшая много времени с минимальной точностью. Итак, чтобы решить эту проблему, был изобретен 3D-принтер. В 1984 году Чарльз Халл был первым, кто изобрел 3D-печать с использованием метода SLA (стереолитографический аппарат). Это аддитивное производство, при котором материал добавляется слой за слоем согласно проекту. Физическая трехмерная модель создается путем преобразования цифрового кода в видимый кодовый шаблон.

Метод печати SLA также называют «быстрым прототипированием», потому что это механизм, при котором чертеж объекта разрабатывается и разрабатывается на компьютере. Этот

цифровой код или G-код переводится в сплошной видимый узор. Этот дизайн может быть разработан в программе САПР или отсканирован с помощью 3D-сканера.

Первый шаг – спроектировать 3D-объект (который будет напечатан) на компьютере с помощью САПР, программного обеспечения Slice-3r или любого другого программного обеспечения. Затем установите контроллер Arduino Mega (AtMega 328), который отправит файл G-кода для запуска Ramp 1.4 с помощью драйвера шагового двигателя A4988. G-код - это файл, имеющий размеры шага в направлении X, Y и Z.

Комбинация Ramp 1.4 и A4988 используется для управления шаговым двигателем, который приводит в движение шаговый двигатель в направлениях X, Y и Z с использованием файла G-кода.

Во-вторых, экструдер начнет печать объекта, используя файл G-кода. В этом экструдере используется FDM (Fused Deposition Modeling), при котором материал плавится или размягчается для создания слоя. Очаг фактически расплавит нить. Экструдер работает от 12 В и состоит из охлаждающего вентилятора, E3D Hotend и сопла диаметром 0,4.

Программное обеспечение, используемое для методологии печати FDM, перечислено ниже.

1. Компьютерный дизайн-Unigraphics, Pro-E
2. Slic-3r
3. Хост ретранслятора

Требования к прошивке перечислены ниже:

1. Arduino IDE
2. Прошивка Marlin

Экструдер работает от напряжения 12 В (опционально 24), он состоит из охлаждающего вентилятора, нагревателя из нержавеющей стали 304, сопла с входным диаметром 1,75 мм (с допуском $\pm 0,1$), термистора NTC 100 кОм, E3D Hotend.

Нагреватель нагревает нить, такую как PLA, ABS, нейлон, металл и т.д. До температуры от 200 до 300 градусов Цельсия и выходит из сопла с выходным диаметром 0,4 мм. Расход форсунки составляет около 24 куб. См / ч [4].

Ramps 1.4 также называют платой расширения экрана с ЧПУ для 3D-принтера, ее основная цель – управлять шаговыми двигателями с помощью модуля драйвера в направлении X, Y, Z и экструдере. Он работает только при подключении к материнской плате (Arduino) и A4988. Комбинация Ramps 1.4 + AtMega 328 + A4988 становится основной платой управления 3D-принтером.



Рис. 2. Шаговый двигатель Nema 17



Рис. 3. Окончательная аппаратная структура 3D-принтера

Аппаратная структура шагового двигателя Шаговый двигатель Nema 17 является предпочтительным двигателем для 3D-принтеров, настольных ЧПУ и т. Д. Угол поворота двигателя пропорционален входному импульсу. Двигатель имеет полный крутящий момент в состоянии покоя (если обмотки находятся под напряжением). Он имеет точное положение и повторяемость с точностью 3 – 5% шага, и эта ошибка не суммируется от одного шага к другому. Срок

службы двигателя просто зависит от срока службы подшипника, потому что он не имеет контактных щеток.

3D-принтер создает модель за один раз. Это сокращает время печати, а также снижает стоимость печати, поскольку материалы из нитей дешевле и легко доступны на рынке. Эта инновационная технология сокращает время, рабочую силу и деньги компании.

Технология 3D-печати может произвести революцию и изменить мир. Это обеспечит компаниям и частным лицам быстрое и простое производство любого размера, формы и масштаба, ограниченное только их воображением. С другой стороны, 3D-печать может обеспечить быстрые, надежные и воспроизводимые средства производства индивидуальных продуктов, которые по-прежнему можно изготавливать недорого за счет автоматизации процессов и распределения производственных потребностей. Автоматическое выравнивание станины повышает качество печати с меньшим вмешательством человека.

Самая большая будущая сфера применения 3D-принтера находится в области медицины. С его помощью можно создавать искусственные заменяющие органы и мероприятия для непосредственного ремонта человеческого тела в конкретной ситуации. Это направление известно как «биопечать» и быстро развивается.

3D-принтеры также могут быть использованы для строительства будущих зданий. Демонстрируя свой потенциал, в Китае удивительная компания WinSun Decoration Design Engineering уже напечатала на 3D-принтере несколько домов. Созданные с использованием обширного материала экструдера 3D-принтера, они включают особняк площадью 1100 квадратных метров и несколько этажей многоквартирного дома.

Библиографический список

1. *Марри Б. Халли, Нараян Свам.* Разработка и реализация 3D-печати на базе Arduino с использованием техники FDM. eISSN 2319-1163, pISSN 2321-7308, IJRET, том 5, специальный выпуск 4, май 2012 г.
2. *Дипаян Дей, Сувик Мондал, Ариджит Кумар Барик.* 3-осевой фрезерный станок с ЧПУ, модифицируемый для 3D-принтера. eISSN 2319-8753, p ISSN 2347-6710, ISO 3297: 2007, Vol. 5, Issue 9, сентябрь 2016 г.
3. *Удживал Бхатия.* Технология 3D-печати. ISSN: 2321-0869, Том-3, Выпуск-2, февраль 2015.
4. *Новакова-Марчинцинова Л., Новак-Марчинцин Дж., Барна Дж. и Торок Дж.* Специальные материалы, используемые в технологии быстрого прототипирования FDM. 13-15 июня 2012 г., Лиссабон.
5. *Паболу В. К., Шринивас К. Н. Х.* Проектирование и реализация трехмерного станка с ЧПУ», 2010.

УДК 661.961.62.

АНАЛИЗ ПРИВОДОВ, ПРИМЕНЯЕМЫХ В ПРИВОДАХ ГЛАВНОГО ДВИЖЕНИЯ В МЕТАЛЛООБРАБАТЫВАЮЩИХ СТАНКАХ

Д. В. Шаповалов, С. А. Мешков

Балтийский государственный технический университет «Военмех» им. Д. Ф. Устинова

На сегодняшний день машиностроительная отрасль Российской Федерации является одним из основополагающих элементов экономики страны, будучи в тесном взаимодействии с остальными отраслями. Основными примерами таких отраслей являются: топливно-

энергетические, оборонно-промышленные и агропромышленные комплексы; транспорт, связь и строительство.

Станкостроение – является одной из главных отраслей машиностроения, которая в полной мере удовлетворяет потребность промышленности в металлорежущем оборудовании. От уровня развития станкостроительной отрасли во многом зависит успех всей промышленности страны.

На текущий день, в основном, заводы используют вертикально-сверлильные станки, с различными видами приводов главного движения.

Модернизация вертикально-сверлильного станка имеет большое значение для промышленности, потому что имеется потребность в обеспечении высокого объема обрабатываемого материала в единицу времени и, следовательно, сокращение времени обработки детали.

Основа модернизации – выбор двигателя и моделирование его работы для соответствия требований главного привода.

Помимо этого, модернизация привода главного движения включает в себя все необходимые аспекты: определение диапазона регулирования скоростей обрабатывающего инструмента, построение кинематической схемы для разработки коробки скоростей вращения, определение эффективной мощности привода, основные расчеты зубчатых передач и валов, учет загруженности вала, выбор соединений для передачи крутящего момента.

Привод главного движения в станках выделяется рядом особенностей, отличающих его от приводов подачи:

- повышенная мощность электродвигателей для работы с большими вращающимися массами, которые в несколько превосходят собственные моменты инерции двигателей;
- необходимость использования всей мощности электродвигателя для обеспечения заданных скоростей резания;
- продолжительная работа при постоянной заданной частоте вращения;

На данный момент в большинстве вертикально-сверлильных станков используется привод на асинхронном двигателе с короткозамкнутым ротором (рис. 1).



Рис. 1. Асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором

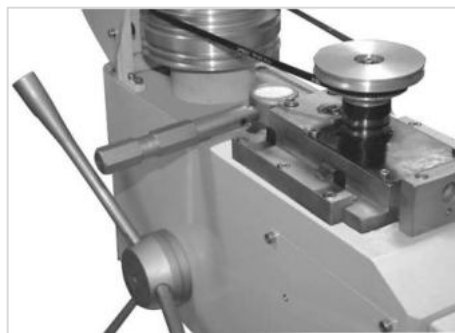


Рис. 2. Клиноременной вариатор

Основные достоинства – низкая стоимость, допустимость многократных перегрузок, вращение с постоянной скоростью, обеспечивающее максимальный рабочий момент, и простота эксплуатации, а также отсутствие необходимости в преобразователях и усилителях.

Недостатками использования являются необходимость применения многоступенчатых коробок скоростей, имеющих большие габариты, для изменения частоты вращения, сложность автоматизации команд управления от ЧПУ (если предусмотрено). Помимо этого, возможность адаптации к изменению режимов резания ограничена.

Регулируемые приводы в полной мере обеспечивают выполнение всех требований, которые предъявляются к приводам главного движения. Есть несколько способов бесступенчатого

регулирования, используемых в приводах главного движения: электрическое регулирование, гидравлическое и механическое.

Гидравлические приводы в современных металлорежущих применяются по большей части для осуществления прямолинейных движений и практически не задействуются для вращательных движений из-за особенности конструкции, в связи с чем непригодны для использования в качестве привода главного движения вертикально-сверлильного станка.

Приводы с механическим регулированием. Вариаторы очень часто используются для бесступенчатого изменения передаточного отношения в металлорежущих станках (рис. 2).

Большинство механических вариаторов, которые нашли своё применение в станкостроении, относятся к фрикционному типу.

Достоинства: возможность регулирования частоты вращения во время работы станка, что в свою очередь обеспечит поддержание постоянной скорости резания с помощью непрерывного автоматического изменения частоты вращения шпинделя.

Недостатки: невозможность настройки работы на нужную скорость при остановленном вариаторе; увеличенные нагрузки на валы и подшипники; небольшой диапазон регулирования, который обычно не превышает 6, и ощутимое снижение частоты вращения при появлении нагрузки; повреждение дисков при буксовании; потери на трение; отсутствие жесткости кинематической характеристики.

Из-за потерь на трение и нежесткой характеристики, применяется совместно с электрическим регулированием и для модернизации не подходит, поскольку не соответствует требованиям.

Применение асинхронных электродвигателей с электрическим переключением скоростей значительно упростило коробки передач. Однако они обладают постоянным моментом, что мешает их корректной работе на малых скоростях.

Для бесступенчатого регулирования частоты вращения в вертикально-сверлильных станках с ЧПУ особое применение находят электродвигатели постоянного тока с тиристорным регулированием (рис. 3).



Рис. 3. Двигатель постоянного тока и привод

У данного вида привода имеется широкий диапазон бесступенчатого регулирования скорости, который разделяется на две зоны с разным способом регулирования. Первая зона – диапазон скорости ниже номинальной, в который постоянный момент сохраняется при любой частоте вращения. Изменение скорости осуществляется изменением напряжения на якоре. Во второй зоне скорость выше номинальной при постоянной мощности. Регулирование происходит с помощью ослабления магнитного поля возбуждения.

Для реализации механизма регулирования скорости зачастую применяют тахометры, обычно представляющие собой небольшой генератор, создающий постоянное напряжение, которое прямо пропорционально скорости вращения вала. Достоверность полученного от та-

хогенератора сигнала крайне важна для обеспечения безопасности и корректной работы. Преимущества данного вида привода: повышается эффективная мощность двигателя; возможность работы с внезапными перегрузками; работа в режиме экономии энергии; снижения уровня шума; повышение надежности и ремонтпригодности станка; оптимальные режимы пуска, реверса и торможения шпинделя; за счет электрического торможения уменьшается износ деталей; возможность постоянной скорости резания при различных диаметрах обрабатываемой детали.

Недостатком приводов постоянного тока является снижение мощности при частоте вращения двигателя ниже номинальной, а также габариты и нерентабельность.

Регулируемые электроприводы постоянного тока, даже с учетом высокой стоимости исполнительного двигателя, остаются более дешевыми, если сравнивать с регулируемыми приводами переменного тока. Применение электродвигателей постоянного тока в главном приводе станков сводит к минимуму число ступеней коробки скоростей. Увеличивает производительность и повышает коэффициент полезного действия (КПД) электропривода.

Синхронный двигатель с постоянными магнитами (СДПМ) (рис. 4) является новым решением в вопросе модернизации привода главного движения



Рис. 4. Синхронный двигатель с постоянными магнитами

Синхронный двигатель с постоянными магнитами по форме обратной ЭДС из-за разных принципов регулирования подразделяется на: трапецеидальные и синусоидальные.

Синхронные двигатели с синусоидальной формой ЭДС вращения и с так же распределенными по расточке статора трехфазными обмотками якоря намного сложнее для производства и требуют большего расхода меди на лобовые части обмоток. Однако они превосходят двигатели с трапецеидальной ЭДС по массогабаритным показателям. Помимо этого, они обеспечивают минимальные пульсации вращающего момента. Из-за этого их можно использовать в системах электропривода, требующих глубокой регулировки.

Механические характеристики СДПМ с трапецеидальной ЭДС полностью аналогичны характеристикам обычной машины постоянного тока с независимым или магнитоэлектрическим возбуждением. Автоматическое управление скоростью вращения в большинстве случаев строится по принципу подчиненного регулирования координат электропривода постоянного тока, включающих в себя контуры тока якоря, и частоты вращения.

При прямоугольных напряжениях, проходящих по фазам статора, электромагнитный момент существенно пульсирует, из-за чего вращение становится неравномерным, ограничивая диапазон регулирования скорости снизу. В данном случае целесообразно формировать в фазах статора токи, близкие к прямоугольным, используя замкнутые контуры регулирования.

Условия, в которых производители предпочитают СДПМ постоянного тока включают в себя эксплуатацию без технического обслуживания, высокие скорости, и работы, где искрение является опасным (т.е. взрывоопасные среды) или в электронном виде может повлиять на чувствительное оборудование.

Максимальная мощность, которая может быть применена в бесщеточных двигателях, ограничивается исключительно воздействием тепла. Большое количество тепла ослабляет

магниты и может привести к повреждению изоляции обмотки. Отсутствие щеток снижает механические потери энергии на трение.

Они могут развивать высокий крутящий момент с хорошим ответом по скорости. Кроме того, данные приводы можно легко поддаются автоматизации для дистанционного управления. Из-за конструкции, имеют хорошие тепловые характеристики и высокую эффективность использования энергии.

Синхронный двигатель с постоянными магнитами не является самостоятельным сам по себе, поскольку его работа невозможна без специальной электронной системы управления. Основная задача такой системы состоит в том, чтобы в зависимости от положения ротора подавать ток на обмотки статора таким, чтобы электромагнитное поле, которое при этом создается, притягивало полюса магнитов ротора, поворачивая при этом его на определенный угол. Достоинства: широкий диапазон изменения частоты вращения; отсутствие щеточных-коллекторного узла; возможность использования в средах, которые могут помешать нормальной работе других двигателей (взрывоопасной и агрессивной); большая перегрузочная способность по моменту; высокие энергетические показатели, особенно при увеличении габаритов (КПД более 90%); большой срок службы и высокая надежность; низкий уровень шума и вибраций. Недостатки: высокая стоимость двигателя за счет частого использования постоянных магнитов в конструкции ротора, которые имеют высокую стоимость; относительная сложность структуры двигателя и управления им. Поскольку в вертикально-сверлильных станках реализуется повторно-кратковременный режим работы, то при использовании охлаждения можно избежать перегрева магнитов и повреждения изоляции обмотки, что ослабит воздействие тепла и увеличит долговечность магнитов. С учетом высокой надежности и КПД, является хорошим вариантом модернизации привода главного движения вертикально-сверлильного станка в долгосрочной перспективе.

Библиографический список

1. Бурков А. П., Смирнов А. А. Сравнительное моделирование систем векторного управления асинхронным двигателем // Вестник ИГЭУ. 2007.
2. Башарин А. В., Новиков В. А., Соколовский Г. Г. Управление электроприводами: Учебное пособие для вузов. Л.: Энергоиздат. ЛО, 1982.
3. Изерман Р. Цифровые системы управления: Пер. с англ. М.: Мир, 1984.
4. Металлорежущие станки // колл. авт. под ред. проф. В. К. Тепинкичиева. М.: Машиностроение, 1973.

ЛОГИСТИКА И УПРАВЛЕНИЕ ЦЕПЯМИ ПОСТАВОК В ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧНЫХ ОТРАСЛЯХ НАЦИОНАЛЬНОЙ ЭКОНОМИКИ

УДК 629.7.071

РАСЧЁТ ХАРАКТЕРИСТИК ПЛАНА МЕРОПРИЯТИЙ ПО ПРЕДПОЛЁТНОЙ ПОДГОТОВКЕ НА ПРИМЕРЕ КОСМОДРОМА БАЙКОНУР

А. А. Беляков

Самарский национальный исследовательский университет им. академика С. П. Королёва

Практика показывает, что в работе современных космодромов большую значимость имеет качество путей сообщения между корпусами и сооружениями, а также их организация и координация. По некоторым данным [1], из-за географической разрозненности строений возникают следующие проблемы:

1. задержки при поставке частей агрегатов и систем стартовых комплексов;
2. отсутствие информации о текущем местонахождении составных частей агрегатов и систем стартовых комплексов;
3. потери оборудования при транспортировке, на местах складирования, в процессе монтажа;
4. ошибочные повторные заказы ресурсов и комплектующих частей изделий.

Поэтому на объектах, где инфраструктура сильно разрослась на открытой местности, требуется обеспечивать оперативное выполнение планов мероприятий по предполётной подготовке. Байконур с этой точки зрения является ярким представителем, на примере которого и будет выстроена статья.

При доставке на космодром и начале порядка испытаний движение ракетно-космической техники (РКТ) осуществляется в направлении площадок монтажно-испытательного корпуса (МИК). Это способствует увеличению плотности потока P_i , состоящего из людей и техники.

Под потоком понимается совокупность РКТ, которая перемещается по космодрому колонной, у которой имеется головная и замыкающая части. С увеличением его плотности снижается скорость движения потока v_i , поэтому основным показателем эффективности передвижения по космодрому в данной работе является время t_i , в течение которого РКТ может достичь отдельных корпусов и строений космодрома.

Оперативность плана мероприятий достигается, когда его продолжительность меньше времени достижения критических для план-графика условий:

1. критической скорости обслуживания и испытаний;
2. повышения в цехах концентрации персонала до недопустимых значений;
3. накопления простоев сверх допустимых количеств;
4. потери координации работ из-за халатности лиц, принимающих решения.

Время наступления указанных критических условий зависит от контекста ситуации и может быть заранее спрогнозировано. Как правило, снижение времени передвижения достигается конструктивно-планировочными и организационными решениями.

Основные параметры перемещения из корпусов и от сооружений предлагаются следующие:

- плотность потока РКТ P_i ;
- скорость движения потока РКТ v_i ;
- пропускная способность путей и выходов из ангаров f_i ;
- интенсивность движения потока РКТ q_i .

Кроме того, транспортные пути (как горизонтальные, так и наклонные) характеризуются длиной L_i и шириной B_i . Например, площадки МИК для сборки и испытаний ракет и орбитальных станций представляют собой многопролётные сооружения промышленного типа длиной около полукилометра шириной до 200 м и высотой более 30 м [2].

Расчётное время передвижения РКТ t_p устанавливается по расчёту времени движения одного или нескольких грузопотоков через цеха от наиболее удалённых мест размещения площадок.

Определение данного показателя предлагается выполнять в несколько этапов:

1. Сначала анализируются объёмно-планировочные решения космодрома с генерального плана, прогнозируется развитие процессов доставки, составляется предварительная логистическая схема, включающая в себя участки и маршруты передвижения. Фиксируются длина и ширина участков.

2. Далее производится расчёт первоначальных (тупиковых) участков передвижения для каждого маршрута.

3. Затем проводится последовательный расчёт промежуточных участков, начиная от смежных с диктующими и заканчивая вывозом с площадки МИК.

4. Наконец, суммируется время передвижения по каждому из маршрутов и определяется расчётное время передвижения.

Разбиение на участки производится в предположении того, что число РКТ на участке N_i , его ширина B_i и длина L_i остаются постоянными. Допускается корпус площадки МИК принимать за один участок в том случае, если из него предусматривается устраивать один транспортный выезд, при этом все люди концентрируются в наиболее удалённой от ворот ангара точке. Расчёт подобного участка имеет смысл только тогда, когда значение интенсивности движения потока РКТ на нём необходимо для расчёта последующих участков.

Участки, которые имеют одинаковые параметры B_i , L_i , N_i обозначаются одинаковыми индексами и рассчитываются единожды. Полученные интенсивность q_i , скорость v_i и время t_i используются в дальнейших расчётах для всех подобных участков при оценке плана мероприятий по предполётной подготовке.

Ангарный проём или иное местное сужение должны рассматриваться как отдельный участок. Если на космодроме расположены корпуса, выстроенные в один коридор, допускается непосредственно расчёт из них не производить, а принять в качестве первоначального участка сам коридор. В таком случае принимается, что поток формируется на участке от места вывоза РКТ из корпуса, наиболее удалённого от выхода из коридора, до данного выхода. Число всей техники на подобном участке будет определяться суммированием для всех корпусов.

К тупиковым следует относить участки, с которых начинается процесс транспортировки, то есть те участки, на которых не происходит слияния или изменения параметров потоков РКТ. К таковым можно отнести следующие участки на рис.1: технические позиции космических аппаратов (ТП КА), монтажно-заправочные корпуса (МЗК), базовый склад компонентов ракетного топлива (КРТ), кислородно-азотный завод (КАЗ), жилые зоны, аэропорт «Крайний».

К диктующим следует относить определённые тупиковые участки, для вывоза РКТ из которых понадобится большее количество времени, чем с прочих. К ним следует отнести такие участки на рис.1: МЗК, базовый склад КРТ, КАЗ.

Маршрутом транспортировки РКТ называются пути, состоящие из последовательно соединённых участков от диктующего до ангарного проёма площадки МИК. Они должны составляться с учётом наиболее вероятных путей передвижения РКТ к ближайшим корпусам и строениям.

При планировании и составлении маршрутов транспортировки важно учитывать, что потоки всегда стремятся идти по кратчайшему пути, по которому легче и быстрее двигаться.

Расчётное время передвижения будет определяться максимальной суммой времён t_{jk} движения по каждому из участков маршрута транспортировки:

$$t_p = \max\{\sum_{k=1}^{n_1} t_{1k}, \sum_{k=1}^{n_2} t_{2k}, \dots, \sum_{k=1}^{n_j} t_{jk}\} \quad (1)$$

где j – порядковый номер маршрута транспортировки; k – порядковый номер участка на маршруте транспортировки; n_j – количество участков на j -м маршруте транспортировки.

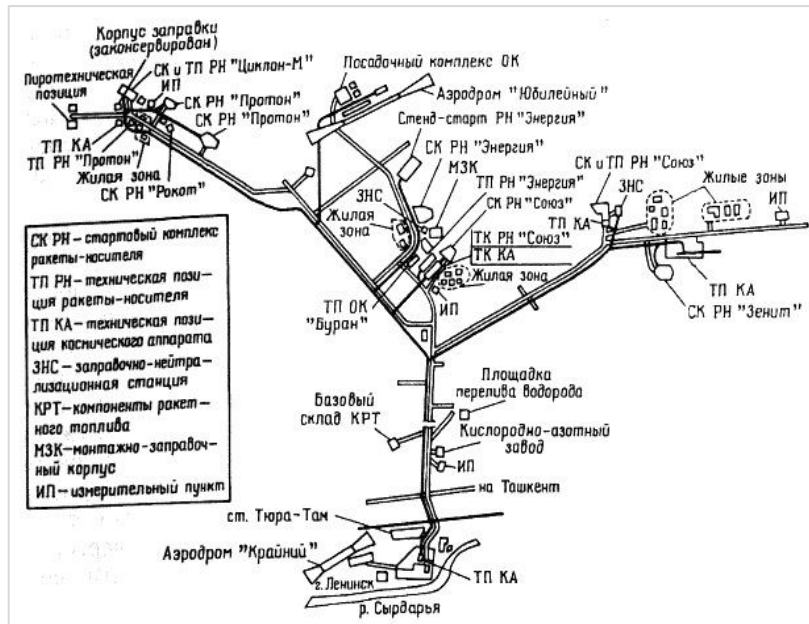


Рис. 1. Условная схема генерального плана космодрома Байконур

На первом этапе определяется плотность потока РКТ на площади i -го участка S_i МИК:

$$P_i = \sum_{i=1}^I \frac{N_i f_i}{S_i} \quad (2)$$

где I – количество РКТ на участке МИК; f_i – площадь горизонтальной проекции РКТ, характеризующая пропускную способность путей.

Интенсивность движения потока техники равняется:

$$q_i = P_i v_i \quad (3)$$

Значение q_i сравнивается с допусаемым значением из плана мероприятий по предполётной подготовке.

Далее определяется время движения по участку для головной части потока:

$$t_i = \frac{L_i}{v_i} \quad (4)$$

Интенсивность движения последующего участка можно найти по рекуррентному соотношению:

$$q_{i+1} = \frac{q_i B_i}{B_{i+1}} \quad (5)$$

Она тоже сравнивается с допусаемым значением. Если выявляется превышение, то вычитывается скорректированное время t_{Ki+1} движения по участку:

$$t_{Ki+1} = \frac{\sum_{i=1}^I N_i f_i}{q_{Ki+1} B_i} \quad (6)$$

Далее определяется время $t_{\Gamma+1}$ прохода головной части потока РКТ:

$$t_{\Gamma+1} = \frac{L_{i+1}}{v_{i+1}} \quad (7)$$

и время t_{3i+1} замыкающей части потока РКТ:

$$t_{3i+1} = t_{\Gamma+1} + t_{Ki+1} \quad (8)$$

При слиянии нескольких участков интенсивность движения потока РКТ высчитать можно так:

$$q_{i+1} = \frac{\sum_{u=1}^i q_u v_u}{V_{i+1}} \quad (9)$$

Затем переопределяются плотность потока P_i и скорость движения v_i РКТ по формулам (2) и (3).

Таким образом, по формулам (1) – (9) можно рассчитать дискретные характеристики маршрута транспортировки РКТ по космодрому, чтобы оценить оперативность выполнения плана мероприятий по предполётной подготовке. Для расчёта потребуется знать количество единиц РКТ из данного плана и геометрию маршрутов из генерального плана космодрома. Эти параметры могут быть использованы при решении транспортных задач методами динамического программирования. Интерес представляет дифференциальный вид рассчитанных характеристик, который позволит получить возможность отслеживать выполнение плана графика в реальном времени и на основе этих данных выстроить автоматизированную систему контроля качества мероприятий по предполётной подготовке на всех этапах управления жизненным циклом наземной космической инфраструктуры космодромов.

Научный руководитель – к.т.н., доцент кафедры космического машиностроения А. И. Шулепов.

Библиографический список

1. Карасёв В. О., Суханов В. А. Система управления жизненным циклом стартовых комплексов космических аппаратов // Инженерный журнал: наука и инновации. 2016. №7 (55).
2. Стромский И. В. Космические порты мира. М.: Машиностроение, 1996. 113 с.
3. Бармин И. В., Неустроев В. Н., Токарев Ю. М., Рубцов Ю. В. Проблемы создания, модернизации и эксплуатации стартовых комплексов для РКП // Полёт. Общероссийский научно-технический журнал. 2007. №8. С. 28 – 35.
4. Кулешов А. В., Прокочик Н. Г., Богомолов А. А., Абросимов Н. А. Методический подход к оценке технического уровня универсальных стартовых комплексов ракет космического назначения с использованием обобщённого показателя // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета им. академика С. П. Королёва (национального исследовательского университета). 2010. №2(22). С. 198 – 204.
5. Александров А. А., Бармин И. В., Денисов О. Е., Чугуников В. В. Инновационные направления в развитии и эксплуатации наземной космической инфраструктуры технических комплексов космодромов // Инженерный журнал: наука и инновации. 2018. №5 (77).
6. Дмитриенко А. Г., Белозерцев А. И., Михеев М. Ю., Тюрин М. В., Ляшенко А. В. Элементы концепции обеспечения безопасности объектов наземной космической инфраструктуры на основе систем контроля и функционального мониторинга // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. 2016. №4(18).
7. Ярославцева Д. А. Пример внедрения интеллектуальных информационно-измерительных систем на объектах стартовых комплексов космодрома // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. 2018. №1(23).
8. Макаров М. И., Павлов С. В., Куреев В. Д. Автоматизация процессов управления на космодромах в целях обеспечения надежной и безопасной эксплуатации ракетно-космической техники и наземной космической инфраструктуры // Научные технологии в космических исследованиях Земли. 2016. №S1.
9. Стрижнев А. С., Королёв Е. М. Подготовка к пуску ракет-носителей // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. 2013. №9.

В. В. Бесогонов

Санкт-Петербургский университет гражданской авиации

На сегодняшний день динамика мировой экономики приобретает поистине колоссальные темпы, однако современный уровень развития мировой наземной транспортной системы не совершенен и не соответствует критериям оптимального функционирования в эпоху глобализации мировой экономики. Данное несоответствие проявляется не только в разветвленности транспортной сети, но также и в техническом уровне эксплуатируемых транспортных средств, их экономическим и, что немаловажно, экологическим характеристикам. Ни для кого не секрет, что экологическая обстановка в мире с каждым днем ухудшается, это ухудшение напрямую связано с воздействием человека, с ростом производства и возрастающими потребностями человечества. Так, известно, что в настоящее время автомобильный транспорт является одним из основных источников загрязнения атмосферы. Возникает острая необходимость в разработке альтернативных транспортных средств и универсальной транспортной технологии.

В сфере добычи полезных ископаемых, на горно-обогатительных комбинатах, карьерах разных мощностей преобладающим способом обслуживания грузовых потоков является циклический режим, т. е. при периодическом обращении автономных транспортных единиц. Универсальная технология, прежде всего, является комплексной и обеспечивает транспортировку грузов по произвольной замкнутой трассе под любым углом к горизонту с возвратом грузовых контейнеров в точку отправления, соответственно сфера применения такой технологии – обслуживание грузовых потоков, осуществляемое в циклическом режиме.

Особенностью универсальной транспортной технологии является унификация условий перемещения транспортных средств путем использования несущего трубопровода на всем маршруте движения. Трассы доставки и возврата грузовых контейнеров располагаются параллельно друг другу и сочетаны в единую конструкцию, это дает неоспоримое преимущество – удешевление строительно-монтажных работ грузовода и, конечно, его эксплуатацию. Размещение транспортной системы в герметизированном трубопроводе обеспечивает идеальные условия движения за счет хорошего контакта с опорной поверхностью, малый коэффициент трения и отсутствие зависимости от внешней среды, т.е. погодных условий. Это позволяет создать систему движения с высокой степенью автоматизации с программируемыми динамическими параметрами и устанавливаемым периодом прохождения трассы, исключая участие человека.

Говоря о геометрии трассы, необходимо, конечно, учитывать рельеф местности, причем трубопровод, являясь несущей конструкцией, позволяет минимизировать число точек перегиба по траектории движения. В некоторых случаях в зависимости от конкретных задач и значительных вводных, окажется целесообразным установка по трассе промежуточных опор.

Энергообеспечение традиционных способов перемещения грузов по земной поверхности основаны на использовании различных двигателей, которые работают за счет энергии топлива или электроэнергии. Все существующие виды транспортных средств имеют свои технико-экономические ниши ограниченной емкости. Новым элементом универсальной транспортной технологии является включение в группу движущих сил – силы Архимеда, силы сжатого воздуха и силы тяготения взамен сил традиционных двигателей внутреннего сгорания, а также полное исключение тяговых усилий, передаваемых посредством канатов, тег и блоков. Стоит отметить, что сила Архимеда является основой транспортных перевозок надводным способом, но до сих пор никак не использована при наземной транспортировке грузов. Сила сжатого воздуха тоже используется достаточно ограниченно. Сила тяготения может обеспечить почти двукратное уменьшение энергорасходов при наличии даже незначительного перепада высот между пунктами загрузки и выгрузки. Силы трения и сопротивления среды – вредные

силы, которые должны быть учтены при расчётах результирующего силового вектора. Важно отметить, что указанные особенности энергобаланса в полном объеме проявляются только при движении транспортных средств в трубопроводе, обеспечивая принципиальные преимущества новой технологии в целом ряде важнейших применений.

При использовании данной технологии при вертикальных транспортировках руды в шахтах, данный транспортный комплекс состоит из вертикального магистрального водовода, установленного в стволе шахты, и смежной с ним шлюзовой камеры с затворами. Водоводом служит стальная труба, а для погрузки руды используются грузовые контейнеры. Для уменьшения гидродинамического сопротивления при их вертикальном движении последним придается сигарообразная форма со стабилизирующими открьлками. Расчёт объема контейнера производится с учетом обретения им положительной плавучести. Работа системы водно-воздушного лифта осуществляется путем перемещения по горизонтали в пустую шлюзовую камеру загруженного рудой и герметизированного контейнера. Внешний затвор шлюза закрывается и открывается уже внутренний затвор, по которому вода из магистрали заполняет шлюз. Под действием выталкивающей силы контейнер по магистрали всплывает к узлу разгрузки, после которого по параллельной магистрали на воздушно подушке возвращается к площадке загрузки. Цикл повторяется. Энергообеспечение процесса подъема грузов осуществляется путем возврата воды из шлюза в магистраль с помощью насоса нагнетательного типа, перекачивающего за каждый цикл объем воды равный объему контейнера. Таким образом при глубине шахты в 1 км и весе руды 8 тонн, время всплытия контейнера составит 2 минуты, а энергозатраты – около 3 квтч.

Применение данной технологии возможно и в пассажирских перевозках. В условиях сложного дорожного движения, с неоднородным характером подстилающей поверхности, в горной местности, каждый метр подъема по вертикали превращается в сотни метров обходных маршрутов. Использование направляющего трубопровода изменяет ситуацию, потому что в данном случае траектория движения может быть составлена из сопряженных прямолинейных участков с максимальным учетом рельефа, а движение вниз, обеспечиваемое силой тяжести, будет происходить практически без затрат энергии. В качестве движущей силы будет использоваться сила сжатого воздуха, передаваемая на корпус и на колесные пары посредством поршневого двигателя. Для подъема 20 тонного вагона на высоту 1 км энергозатрат необходимо с учетом трения и сопротивления среды необходимо 100 квтч. В этой сфере применение, данной технологи знаменует надежность, простоту управления, экономичность и, что совсем немаловажно, экологичность.

Результаты анализа потенциальных возможностей данной транспортной технологии позволяют заключить, что она намного превосходит по вышеуказанным параметрам все существующие методы транспортировки грузов.

Научный руководитель – Ю. С. Опара.

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ФОРМЫ ЗАРЯДА ТВЕРДОГО
РАКЕТНОГО ТОПЛИВА ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ЛЕТАТЕЛЬНЫМ
АППАРАТОМ**

М. С. Демидов, С. М. Демидов, А. А. Сизова

Балтийский государственный технический университет «Военмех» им. Д. Ф. Устинова

Целью космической логистики является своевременное обеспечение объектов космической инфраструктуры расходными материалами и, в случае необходимости, средствами ремонта.

Компонентами системы логистики являются ракеты, доставляющие требуемые элементы.

В данный момент для обеспечения выполнения функций ракет существуют два основных типа двигателей: жидкостные (ЖРД) и твердотопливные (РДТТ).

Области конкретного применения этих двух типов двигателей определяются их сравнительными конструктивными, энергетическими, эксплуатационными и финансовыми характеристиками.

Большее содержание потенциальной химической энергии, запасенной в единице массы жидкого ракетного топлива, легкость регулирования величины тяги и возможность многократного включения и выключения ЖРД в полете предопределили главенствующую роль этих двигателей в космонавтике. ЖРД широко применяются в качестве основных, двигателей, обеспечивающих разгон ракет-носителей (РН) и космических аппаратов (КА), торможение КА и перевод их на другие орбиты и т. д.

Ракетные двигатели твердого топлива эффективны на первой ступени РН, обеспечивая гарантированную тягу, вне зависимости от температуры окружающей среды и других внешних условия. Кроме того, такой двигатель не требует особых условий при подготовке к старту и при проведении самой процедуры старта.

При всей простоте схемы работы РДТТ точный расчет его рабочих характеристик представляет собой сложную задачу. При работе возникает масса сложных прочностных, тепловых, акустических и других задач. Но начальной задачей конструктора является определение исходных условий – определение типа заряда и его ориентировочных геометрических характеристик. Именно определению эскизных параметров (тип заряда, его число лучей, их геометрические характеристики) и посвящена данная работа.

Используя рассмотренную методику можно развить геометрическую модель и, в дальнейшем, применять ее для более сложного анализа в специализированном программном обеспечении.

Как известно, задача ракетного двигателя – обеспечить тягу КА. В РДТТ тяга образуется за счет сгорания заряда. Желательно, чтобы за время сгорания заряда поверхность горения оставалась постоянной или менялась незначительно, тогда управлять ракетой становится проще.

Основным компонентом такого двигателя является заряд твердого топлива. В простейшем случае такой заряд имеет форму цилиндра, горящего по торцу. Но заряд, имеющий такую форму, дает весьма низкую тягу, поэтому в конструкциях ракет такая форма заряда не применяется. В современных двигателях наиболее распространенным является звездчатый и зонтичный заряды (рис.1, 2) [1].

Целью работы является рассмотрение метода анализа изменения площади поверхности горения, и разработка варианта конструирования заряда с заданным законом изменения этой поверхности.

Для зарядов простой формы площадь может быть рассчитана с помощью аналитических формул, для сложных форм канала можно использовать САД-модели.

Создадим модель звездчатого заряда. Поскольку наружная часть забронирована, первой операцией создадим цилиндрическую заготовку заданного диаметра. Наружный диаметр –

константа, а внутренний диаметр будет изменяться по заданному закону – начальный внутренний диаметр минус удвоенный шаг t (рис. 3). Длина цилиндра также меняется, поскольку заряд горит по одному из торцев.

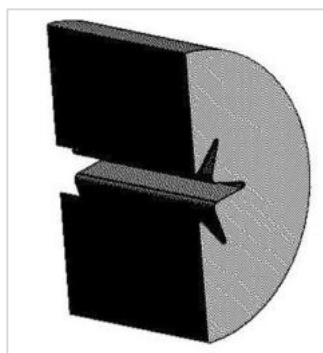


Рис. 1

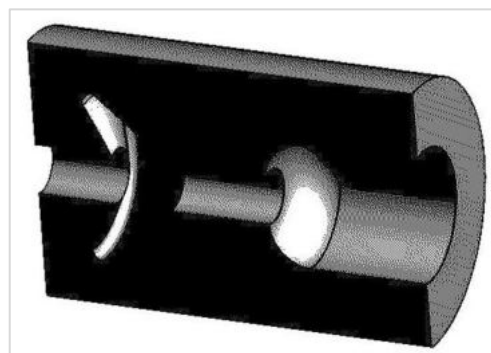


Рис. 2

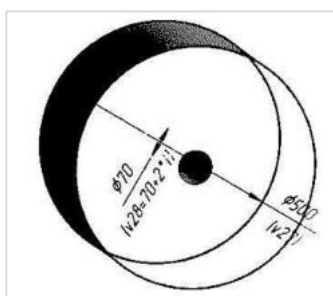


Рис. 3

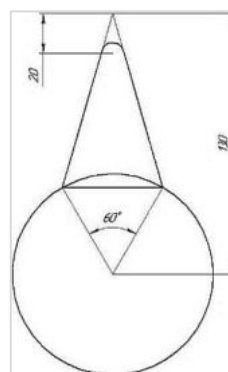


Рис. 4

Вторая операция – моделирование луча канала. Его форма – треугольник со скруглением в вершине. Высота треугольника также меняется по закону текущая высота плюс шаг t . Радиус скругления будет изменяться автоматически при увеличении высоты из-за ограничения – касание. Угол при основании остается постоянным и определяется количеством лучей. Используем операцию выдавливания, формируя канал, а далее создаем массив лучей и добавляем скругление, которое также изменяется по линейному закону (рис. 4)

Для анализа можно создать измерение площади, указав поверхности, которые будут изменяться в процессе горения.

Используя параметрические возможности, можно, изменяя параметр t проанализировать изменение площади.

Конструктор имеет возможность, меняя геометрические параметры, увидеть, как меняется закон изменения поверхности горения, и, соответственно, тяга двигателя.

Изменим начальный диаметр канала с 70 на 100 (рис. 5, 6). В результате анализа получен следующий график (рис.7). Можно увидеть, что площадь поверхности горения при увеличении диаметра внутреннего канала меняется более плавно.

Проанализируем, как изменяется площадь поверхности горения при использовании зонтичного заряда.

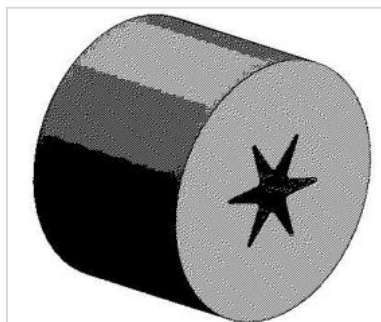


Рис. 5

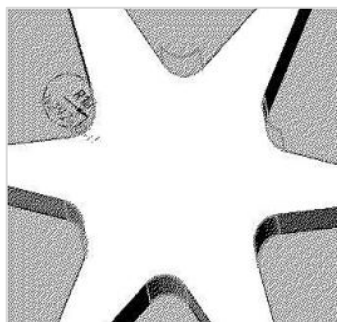


Рис. 6

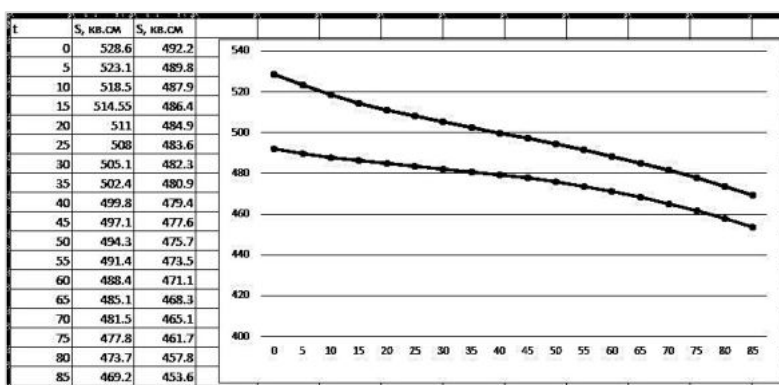


Рис. 7

Для анализа модель цилиндра будет дополнена элементом вырезание вращением. Как видно из рисунка (рис.8), при изменение параметра t будет увеличиваться диаметр канала, правая граница будет перемещаться влево, «зонт» будет увеличиваться в размерах.

Рассмотрим модель такого заряда (рис.9).

Изменяя геометрические параметры заряда, мы можем менять скорость изменения поверхности горения, таким образом, меняя тягу и скорость ракеты соответственно.

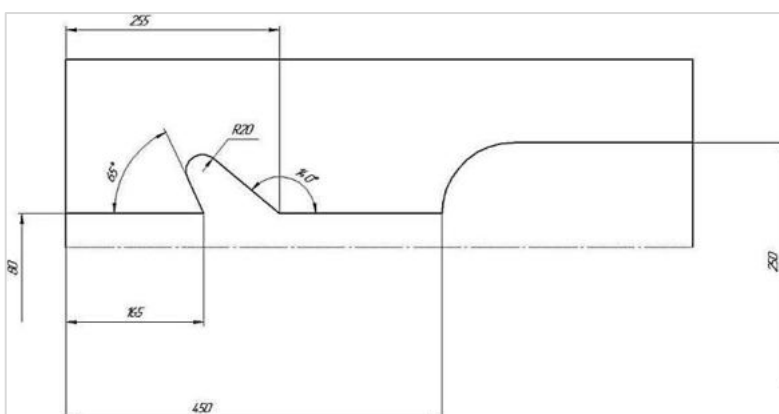


Рис. 8

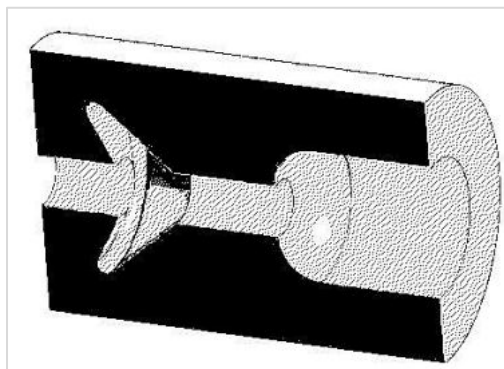


Рис. 9

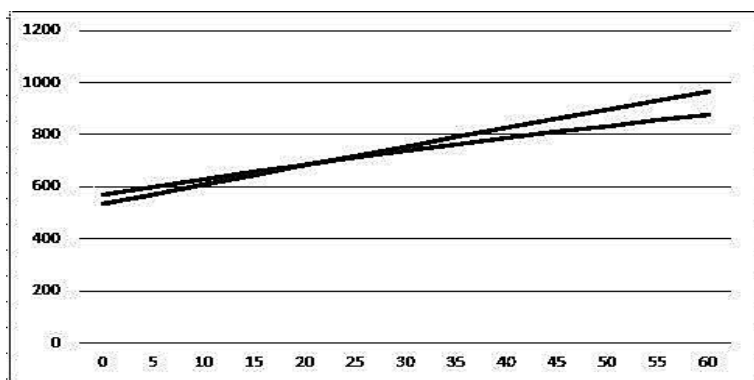


Рис. 10

В результате видим, что звездчатый заряд имеет регрессивный характер горения, то есть со временем поверхность горения сокращается, а зонтичный заряд имеет прогрессивный характер горения, то есть его площадь со временем увеличивается (рис.10). Для изменения скорости изменения в звездчатом заряде удобно менять диаметр внутреннего канала, а для зонтичного заряда форма «зонта» оказывает на эту величину наибольшее влияние.

Таким образом, мы показали, что, используя параметрическую трехмерную модель заряда, можно оценить изменение поверхности горения и, зная параметры топлива, можно определить тягу ракетного двигателя твердого топлива и закон изменения тяги. В число недостатков такого способа нужно отнести проблемы при разделении заряда на части в результате прогорания и потребность создавать модели, когда поверхности меняют число граней, если в эскизе размер одной из линий становится равной нулю.

Библиографический список

1. Фахрутдинов И. Х., Котельников А. В. Конструкция и проектирование ракетных двигателей твердого топлива. М.: Машиностроение 1987. 328 с.
2. Лукьянчук С. А. КОМПАС-3D. Версии 5.11-8. Практическая работа. М.: Солон-Пресс, 2008. 209 с.

УДК 378.147

**АНАЛИЗ ОПЫТА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРОГРАММНОГО СРЕДСТВА
«JITSI MEET» В КАЧЕСТВЕ ИНСТРУМЕНТА
ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ В АСПИРАНТУРЕ
БГТУ «ВОЕНМЕХ» ИМ. Д. Ф. УСТИНОВА**

М. М. Алексеева, А. И. Лаптинский

Балтийский государственный технический университет «Военмех» им. Д. Ф. Устинова

Аспирантура является третьей ступенью высшего образования в России и первым этапом на пути к академической карьере ученого. Программы аспирантуры реализуются университетами в целях создания аспирантам условий для приобретения необходимого для осуществления профессиональной деятельности уровня знаний, умений, навыков и подготовки к защите научно-квалификационной работы на соискание ученой степени кандидата наук и может варьироваться от 3 до 5 лет в зависимости от предметной области и формы обучения. Для получения высококвалифицированных кадров, необходимо обеспечивать доступность освоения образовательных программ во время всего обучения. Однако в свете последних событий нельзя исключать возможность возникновения непредвиденных обстоятельств, мешающих проведению очного обучения. В связи со сложной эпидемиологической ситуацией, вызванной COVID-19, в 2020 году высшие учебные заведения должны были временно прекратить очные занятия и перейти на дистанционный формат обучения. При переходе на дистанционное обучение инструментом доступа к образовательной среде выступают современные электронные информационные образовательные технологии. В данной работе рассматривается опыт использования интернет-телефонии и мгновенного обмена сообщениями «JITSI MEET» [1] в качестве инструмента, позволяющего проводить аудиторные занятия дистанционно. На примере обучения аспирантов первого курса БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д. Ф. Устинова определяются преимущества использования бесплатной платформы для проведения «онлайн-конференций», а также возникшие сложности.

Необходимость вынужденного временного перехода на обязательный дистанционный формат обучения появилась внезапно и сразу вызвала ряд трудностей: небольшой опыт работы в онлайн формате как среди преподавателей, так и среди обучающихся; необходимость проведение экспертизы о возможности открытого опубликования для материалов дисциплин, чтобы определить, что они не попадают под действия Перечня сведений, составляющих государственную тайну (статья 5 закона РФ «О государственной тайне»), не относятся к Перечню сведений, отнесенных к государственной тайне, утвержденному Указом Президента РФ от 30.11.1995 г. № 1203, не подлежат засекречиванию и данные материалы могут быть открыто опубликованы; невозможность проведения занятий, требующих уровень допуска. Однако, несмотря на всю сложность ситуации, дистанционное обучение с использованием платформ для проведения онлайн занятий дает возможность освоения образовательных программ без прерывания обучения.

БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д. Ф. Устинова осуществляет обучение по программам подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре по 17 направлениям [2]. Обучение в аспирантуре является такой ступенью образования, в которой обучающийся уже имеет определенные знания и умения в изучаемых предметных областях, является формой повышения квалификации и важнейшим этапом в становлении научной карьеры. Исходя из этого, можно предположить, что большинство аспирантов имеют постоянную работу. Проведение лекций с помощью открытой программы «JITSI MEET» дало возможность аспирантам, не тратя время на

дорогу и не отрываясь от работы, продолжить обучение в любом удобном месте и с любого устройства, имеющего доступ в интернет. Данная программа позволяет включить демонстрацию экрана для иллюстративного представления материалов, есть видео и аудио связь, а также можно писать в чате, если имеются технические неполадки с микрофоном. На рис. 1 показана рабочая область программы для дистанционного обучения «JITSI MEET» на примере проведения дисциплины «Инновационные образовательные технологии в высшей школе».



Рис. 1. Пример рабочей области программы «JITSI MEET»

Приложение дает возможность просмотра видеотрансляции конкретного пользователя в полноэкранном режиме, а если соединение плохое, то можно включить режим экономии пропускной способности. Этот режим исключает возможность пользователю видеть видеоматериалы, но улучшает пропускную способность аудио сигнала. Во время использования данной программы аспиранты столкнулись и с некоторыми сложностями использования программы: на мобильном устройстве нельзя просмотреть своё имя или сменить его, когда ты уже зашел в видеоконференцию, приходится переподключаться. Ведь при корректном написании аспирантами своих личных данных, преподаватель может полноценно оценить присутствующих на занятии, поскольку в используемой программе можно вывести статистику каждой видеоконференции. При большой посещаемости занятий (например, потоковые дисциплины для всех направлений), могут происходить технические сбои, пропадать демонстрация экрана или же просто зависать одна картинка с экрана при использовании докладчиком функции «демонстрация экрана». Обычно данные проблемы решаются переподключением на лекцию, но это может внести свои отрицательные моменты: у некоторых автоматически установлено включение видео и микрофона при подключении, а преподаватель не может контролировать ни микрофоны, ни чат.

Это вносит помехи и дополнительные шумы, что может сбить с мысли преподавателя или докладчика. Также нельзя не отметить, что при использовании программ, позволяющих проводить дистанционные занятия, отсутствует прямое взаимодействие преподаватель-аспирант, есть сложности для совместной работы аспирантов. В отличие от распространённого сервиса для проведения видеоконференций, онлайн встреч и дистанционного обучения «ZOOM», «JITSI MEET» менее распространена из-за более ограниченного функционала: нельзя поставить иконку с фотографией, есть только общий чат, преподаватель имеет более ограниченные возможности в качестве модератора, нет возможности создания встроенных отдельных «подкомнат» для работы подгруппами. Однако программа «ZOOM» не является полностью бесплатной и имеет ограничения на бесплатное пользование: можно подключать одновременно до 100 устройств с 40-минутным ограничением. Также программа для организации видеоконференций, разработанная компанией Zoom Video Communications, имеет уязвимости в плане безопасности [3]. В этом плане использование бесплатной программы «JITSI MEET» удобнее и безопаснее, поскольку она менее известна, нет ограничений на подключения, а «кабинеты» онлайн занятий защищены паролем, и доступ к ним разрешен только авторизованным пользователям через корпоративную почту БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова. Это минимизирует возможность подключения сторонних пользователей.

Описанные выше ограничения и недостатки программы «JITSI MEET» не сильно повлияли на посещаемость и отношения аспирантов к такому формату обучения. С целью изучения отношения аспирантов первого года обучения к использованию программы «JITSI MEET» в качестве инструмента дистанционного обучения был проведён анонимный опрос среди обу-

чающихся. Им было предложено оценить, насколько они удовлетворены проведением дистанционного обучения в аспирантуре с помощью использования программы «JITSI MEET». В период с 10 по 16 марта 2021 г. в опросе приняло участие 22 аспиранта первого года обучения разных направлений подготовки. Результаты опроса представлены графически на рис. 2.

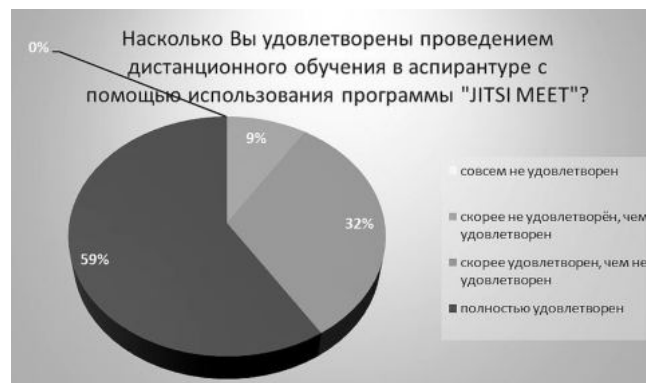


Рис. 2. Результаты опроса «Насколько Вы удовлетворены проведением дистанционного обучения в аспирантуре с помощью использования программы JITSI MEET»

Анализ полученных ответов позволяет сделать вывод о положительном отношении большинства опрошенных аспирантов к использованию в обучении программы для проведения онлайн-лекций, а конкретно программы «JITSI MEET». Ни один из опрошенных не выбрал вариант ответа, что он совсем не удовлетворен таким форматом обучения с использованием вышеупомянутой программы. Вынужденный переход на дистанционный формат обучения среди аспирантов первого года обучения в большей степени оказался положительным: большая посещаемость занятий из-за возможности подключения с любого устройства, на котором есть интернет, удобство взаимодействия с преподавателями и доступность изучаемого материала. Таким образом, проведенный анализ накопившегося опыта использования дистанционного обучения с помощью программы «JITSI MEET», конкретизация имеющихся трудностей позволяет сделать окончательный вывод: несмотря на имеющиеся технические трудности в использовании открытой программы, реализация учебного процесса может быть успешна и в дистанционном формате. Однако стоит провести мониторинг проблем, которые выявляются во время проведения онлайн встреч, и обратиться к разработчикам с конкретным описанием трудностей. При устранении технических недостатков проведение онлайн лекций может выйти на более качественный уровень. Но всё же дистанционное обучение еще долгое время не сможет полноценно заменить очных занятий из-за отсутствия точного законодательного оформления данного вопроса, полностью подходящих онлайн платформ для обучения, невозможности дать обучающемуся должного социального развития, а также из-за разного уровня цифровизации в нашей стране и отношения людей к онлайн-обучению.

Данная работа была выполнена в рамках изучения дисциплины «Инновационные образовательные технологии в высшей школе».

Библиографический список

1. Jitsi [Электронный ресурс] // URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Jitsi> (Дата обращения 09.03.2021).
2. Поступление в аспирантуру [Электронный ресурс] // URL: <https://www.voenmeh.ru/science/postgraduate-study/admission> (Дата обращения 09.03.2021).
3. Zoom (программа) [Электронный ресурс] // URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Zoom_\(программа\)](https://ru.wikipedia.org/wiki/Zoom_(программа)) (Дата обращения 14.03.2021).

**ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ
ДЛЯ ПРАКТИЧЕСКИХ ДИСЦИПЛИН НА ПРИМЕРЕ
РАДИОМОНТАЖНОЙ ПРАКТИКИ**

С. Г. Амбросович

Балтийский государственный технический университет «Военмех» им. Д. Ф. Устинова

В настоящее время в связи с возникшей в мире неблагоприятной вирусно-эпидемиологической обстановкой, все большую актуальность приобретает применение технологий дистанционного обучения: рекомендуемая форма обучения сейчас – смешанная (очная/дистанционная), во время действующих карантинных мер – полностью дистанционная. Если абстрагироваться от карантинных мер, то дистанционное обучение в любом случае рано или поздно стало бы доминирующим над традиционным очным. Причин этому несколько:

1. Экономия времени: современное общество живет в постиндустриальном мире, в котором важную роль играет качество оказания услуг, и уровень этого качества растет с каждым годом; следовательно, чтобы научиться качественно оказывать услуги, требуется больше времени, а значит, нужно в идеальном случае свести время простоя (например, перемещение до места учебы и работы) к нулю. Поэтому обучение в очной форме становится неэффективным в плане затрат времени.

2. Место проведения обучения ограничено только теми местами, где отсутствует соединение с сетью Интернет. То есть, обучаться можно дома, на работе, во время путешествий и т. д.

3. Совершенствование видов связи. Цена за единицу трафика с учетом инфляции все же падает. Это делает мобильную связь доступной для всех социальных категорий граждан. Нарастивание мощностей и смена поколений сотовой связи позволяют обеспечить беспроводным соединением большее число абонентов.

4. Совершенствование компьютерных технологий. В настоящее время самый дешевый смартфон выполняется на четырехъядерном процессоре и имеет как минимум 2 Гб оперативной памяти, что позволяет в режиме реального времени кодировать и декодировать поток видеосвязи и передавать изображение, полученное через фронтальную камеру смартфона в высоком качестве. Практически любой современный портативный компьютер обладает как минимум теми же возможностями. Все это также делает дистанционное обучение более доступным для всех социальных категорий граждан.

С учетом же эпидобстановки, необходимость ввода такого варианта обучения продиктована ограничением свободного перемещения людей. Несмотря на все трудности, в основном связанные с сыростью технологий и сжатыми сроками перехода, дистанционное обучение стало равнозначным очному.

Лекционные занятия в дистанционную форму переносятся практически без адаптаций: от обучающихся нужно лишь умение слушать, слышать и понимать материал. Также требуется само посещение дистанционных занятий, то есть становится более актуальным дисциплинарный момент.

Другое дело – практические занятия. Адаптация под дистанционную форму может вызвать некоторые трудности с контролем работы обучающихся, но обычно все сводится к введению СРС и ее контроля в виде аттестаций и тестирования.

Самая сложная адаптация под дистанционную форму - у дисциплин, содержащих только работу в лаборатории, то есть проведение исключительно лабораторных работ с использованием специфического и зачастую дорогостоящего оборудования. Кроме того, каждая из рабочих программ дисциплин содержит компетенции, достижение обучающимися которых не всегда представляется возможным дистанционно [1].

Рассмотрим пример адаптации под дистанционный режим обучения такой дисциплины как радиомонтажная практика (учебно-технологический практикум, учебная практика, основы радиомонтажной практики в разное время), преподаваемая на кафедре О2 университета БГТУ «Военмех». В ее курс входит 7 лабораторных работ. Каждая из работ предполагает работу с паяльным оборудованием с применением токсичных флюсов и свинцовосодержащих припоев, опасных для экологии и здоровья человека. Из этого следует, что как минимум рабочее место обучающегося должно быть оборудовано хорошей вентиляцией с оттоком вредных паров припоя и флюса из помещения. Паяльное оборудование имеет элементы (жало) с рабочей температурой, достаточной для причинения вреда здоровью и жизни, а также для возникновения пожароопасной ситуации. Работа с монтажным инструментом может привести к травмам механического характера (колотые, резаные, рваные ранения). Следовательно, ввод СРС невозможен из-за отсутствия возможности создать необходимые для работы условия в жилом помещении и контроля за соблюдением всех мер безопасности.

В 2020 году на кафедре были опробованы способы проведения лабораторных работ с применением СРС, адаптированных для полудистанционной формы [2, 3]:

1. Проведение занятий с применением платформы для проведения видеоконференций, адаптированных для учебных заведений. В случае с БГТУ «Военмех» такой платформой является Jitsi. Это бесплатная платформа для видеоконференций с открытым исходным кодом с простым для понимания интерфейсом и наличием бесплатного приложения для мобильных устройств [4]. Платформа активно дорабатывается, что с течением времени повышает ее стабильность, которая в настоящее время иногда оставляет желать лучшего.

2. Применение обучающих видеоматериалов: преподаватель записывает ход работы на видеокамеру, захватывая необходимую для понимания сути работы зону рабочего места. Качество видео наивысшее для платформы, чтобы каждое действие было видно. Монтаж допускается лишь тогда, когда на отснятом исходном материале наблюдается длительная пауза, незначимая для работы. Например, пауза для оценки времени периода низкочастотного сигнала значима для работы, ее обрезать недопустимо. Видеоматериалы находятся на этапе подготовки к публикации в ЭИОС.

3. Использование компьютерных технологий в области симуляции физических процессов для понимания обучающимися физики протекающих в электрических схемах процессов без ущерба для настоящих радиоэлементов. Современные программы-симуляторы, такие как Multisim или бесплатная Circuit Simulator, с достаточной точностью моделируют электрические процессы, протекающие в аналоговых радиосхемах. Некоторые программы-симуляторы имеют онлайн-версию (например, EasyEDA), не требующую установки приложения на устройство, что упрощает процесс обучения и снимает вопрос платформенной преграды.

4. Проведение аттестаций на основе количества присутствующих в видеоконференции на лекционных занятиях. Фиксация числа обучающихся ведется при помощи записи присутствующих (переключки или обратная связь через почту университета) и последующего проведения контрольных мероприятий.

5. Контрольные мероприятия проводятся в виде тестирования, однако это не дает точного представления настоящего уровня знаний обучающихся по дисциплине. Проведение контрольных мероприятий, предполагающих устный ответ, более объективно.

6. Зачетные мероприятия проводятся в составе комиссии, оценивающей работу обучающихся по выполнению отчетных работ. В случае возникновения спорных ситуаций обучающемуся задаются вопросы по тематике дисциплины.

Даже с учетом проделанной работы целиком перевести данную дисциплину в дистанционный режим не получится. Для того чтобы убедиться в этом, следует привести перечень компетенций РПД в соответствии с ФГОС ВО по программе направления 12.03.01 «Приборостроение» [5].

Общекультурные компетенции формируют навыки самостоятельной и коллективной работы (ОК-06 – ОК-07) – дистанционно такие навыки могут быть получены, но с некоторым упором в самостоятельную работу.

Общепрофессиональные компетенции ОПК-1 и ОПК-4 также могут быть достигнуты в ходе дистанционной формы обучения. Для этого понадобится изучение видеоматериалов лекционных занятий и проведение симуляции работы радиосхем в качестве минимума.

Профессиональные компетенции ПК-3 и ПК-4 могут быть получены только в реальной лаборатории, так как предполагают сборку, измерение параметров и наладку реальных электронных изделий. Поэтому предлагается остановиться на переносе дисциплины в дистанционный режим частично, оставив 10 из 68 часов занятий в очной форме [6]:

- Чтобы обезопасить обучающихся во время очного посещения лаборатории, рассчитанной на 24 места, ограничить присутствие только 12-ю обучающимися. При посадке за монтажные столы через одного, расстояние между обучающимися составляет не менее 2 м;
- Во время входа и выхода в лабораторию и во время подготовки к работе обучающиеся обязаны носить средства индивидуальной защиты в зависимости от уровня опасности эпидемиологической обстановки в период времени, когда проводятся занятия в очной форме;
- Программа обучения разбивается на независимые части, чтобы очная часть могла проходить в начале или в конце обучения;
- Работа проводится при постоянно работающей системе вентиляции: создается отток вредных испарений и происходит принудительная вентиляция лаборатории;
- Занятия построены таким образом, что лекционная часть в очной форме отсутствует. Обучающиеся сразу выполняют лабораторные работы после вводного инструктажа по технике безопасности;
- Количество работ с применением очных лабораторных занятий предлагается сократить до трех: основы радиомонтажа (монтаж проволочной матрицы и различных видов соединений проводов - №1), монтаж пассивных радиоэлементов (резисторов, конденсаторов - №№4-5) и монтаж активных радиоэлементов (транзисторы, ИМС - №№6-7);
- На каждую работу отводится по 2 академических часа. Оставшиеся 4 часа нужны для завершения работ;
- Резервное время также предназначается для выполнения обучающимися работы в случае их неявки в момент ее проведения.

В итоге все компетенции, указанные в РПД, достигаются в полном объеме. При этом сокращается количество часов в аудитории и остается возможным приобретение обучающимися практических навыков по работе с паяльным оборудованием в специально предназначенных для этого помещениях.

Научный руководитель – д.т.н., профессор, зав. каф. О2 А. В. Марков.

Библиографический список

1. ГОСТ Р 53620-2009 Электронные образовательные ресурсы. Общие положения.
2. Суханов А. В., Шматко А. Д. Сравнительный анализ влияния использования инновационных технологий на очное и заочное обучение в высшей школе // Скиф. Вопросы студенческой науки. 2020. № 3 (43). С. 210 – 213
3. Путков К. А., Шматко А. Д., Шуцкая А. Д. Перспективы использования виртуальных лабораторных комплексов для подготовки специалистов высокотехнологичных отраслей экономики // Экономика и предпринимательство. 2016. № 11-1 (76). С. 404 – 407.
4. Приказ Министерства образования и науки РФ от 3 сентября 2015 г. № 959 «Об утверждении федерального государственного образовательного стандарта высшего образования по направлению подготовки 12.03.01 Приборостроение (уровень бакалавриата)». [Электронный ресурс]. URL: <http://fgosvo.ru/news/2/1368> (дата обращения 12.03.21).

5. Jitsi Meet. [Электронный ресурс]. URL: <https://jitsi.org.ru> (дата обращения 25.03.2021).
6. Опыт реализации образовательного процесса в дистанционном режиме в период распространения коронавирусной инфекции и перспективы его использования. [Электронный ресурс]. URL: https://spbu.ru/sites/default/files/20201102_presentation.pdf (дата обращения 25.03.21).

УДК 378.147

ПРИМЕНЕНИЕ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ОНЛАЙН ОБУЧЕНИИ В ТЕХНИЧЕСКИХ ВУЗАХ В УСЛОВИЯХ ПАНДЕМИИ

А. А. Березовский

Балтийский государственный технический университет «Военмех» им. Д. Ф. Устинова

В 2020 году наша повседневная жизнь значительно изменилась, пандемия COVID-19 нарушила буквально все сферы социальной жизни, система образования также не осталась в стороне. По-прежнему, основным способом сдерживания распространения коронавирусной инфекции все еще остается соблюдение социальной дистанции, в связи с этим последовало частичное или полное закрытие образовательных учреждений и соответствующей им инфраструктуры.

В результате более 2 млрд. студентов по всему миру, согласно статистике [1] были изолированы от своих университетов, в связи с введенными карантинными мерами в каждой стране. В сложившейся ситуации государственные власти, руководители учебных заведений, преподаватели, а также сами студенты были вынуждены перейти на новую систему обучения с применением программ удаленного обучения.

Незадолго до этого специалисты всего мира рассуждали, когда и как цифровые технологии смогут изменить и внедриться в систему образования, как они повлияют на представления об обучении и о том, какой будет реакция на эти изменения действующей системы образования и лиц, причастных к данной сфере.

Последние события показали то, как все может быстро измениться, как люди могут мгновенно приспособиться к новым реалиям коммуникаций. Произошедшая пандемия стала инициатором глобальных и стремительных изменений в данной сфере. Руководители департаментов образования по всему миру почти в один и тот же момент оказались перед сложным выбором: остановить все процессы образования и временно прекратить работу всех учреждений или попытаться внедрить в образовательный процесс инструменты онлайн-среды.

Время показало, что решение пойти по пути онлайн обучения оказалось самым правильным решением, но все же, большинство учебных заведений по всему миру столкнулись с рядом общих проблем, таких как, различие в доступности каналов связи, разный уровень применяемого оборудования и программного обеспечения, а самое главное, разными финансовыми возможностями для оснащения телекоммуникационными услугами.

В этих обстоятельствах руководители правительства и все профессиональные организации стали прилагать усилия для выстраивания такого образовательного процесса, который бы мог минимизировать неравенство цифровых возможностей в высших учебных заведениях. Если обобщить весь имеющийся опыт внедрения дистанционного формата обучения в очное образование, то можно выделить несколько направлений:

- 1 внедрение образовательных онлайн-платформ в процесс обучения [2];
- 2 применение сетевых интернет-коммуникаций и электронной коммерции [3];
- 3 создание и транслирование образовательного контента по теле и радиоканалам;
- 4 оснащение студентов копиями учебных материалов (доставка на дом).

Получившие в последнее время широкое распространение цифровые сервисы и специализированная инфраструктура были частично или полностью внедрены в образовательные процессы. Специалисты ЮНЕСКО предложили свою классификацию инструментов для организации дистанционного обучения [4]:

- ресурсы, позволяющие оказывать психологическую поддержку в условиях пандемии;
- цифровые системы управления обучением (Moodle, Google classroom);
- мобильные приложения, созданные для обучения;
- системы с сильной автономной функциональностью;
- платформы массовых открытых онлайн курсов (МООС);
- контент для самостоятельного обучения;
- мобильные приложения для чтения;
- платформы для совместной работы в режиме видеосвязи (Teams, Skype, Zoom, Jitsi Meet);
- инструменты для преподавателей по созданию цифрового учебного контента;
- внешние учебные репозитории для дистанционного обучения.

Из вышеперечисленных инструментов для организации дистанционного обучения, необходимо остановиться на цифровой системе управления обучения.

Цифровая система управления обучением (Learning Management System, LMS) – это платформа или программное приложение, позволяющие администрировать, управлять и распространять образовательные и информационные материалы для обучения. Также, данная система позволяет интегрировать инструменты обучения, формировать аналитику и отчетность.

Основной задачей данной системы – является доступность и упорядоченность учебных программ, а также, администрирование учебных процессов.

Можно выделить разновидности систем управления обучением, их разделяют на:

- серверные системы управления обучением;
- облачные системы управления обучением.

Серверная система управления обучением – для данной системы важно наличие установленного сервера в учебном заведении, далее, владелец сервера дает доступ к обучению тем, кто с ним связан. Такой вид системы выбирают большие организации, так как, они могут иметь полный контроль, а также из-за соображений информационной безопасности.

Облачная система управления обучением – для системы такого вида наличие установленного сервера в учебном заведении уже не нужно, так как, владельцы и пользователи получают доступ к образовательному контенту через интернет. Как показывает практика, то их выбирают из-за простоты использования, чаще всего, такие системы выбирают частные онлайн-школы, так и представители компаний для создания площадок по корпоративному обучению.

Также, необходимо выделить преимущества систем управления обучением перед другими способами дистанционного обучения:

- круглосуточная доступность к образовательным материалам;
- хранение большого объема данных на своем сервере;
- возможность контролировать знания студентов, создавая в системе аттестационные мероприятия;
- доступная аналитика успеваемости студентов;
- наличие внутреннего мессенджера для коммуникации, как с преподавателем, так и со студентами;
- снижение затрат времени и финансов, так как студентам не нужно больше тратить время и финансы для поездок в высшее учебное заведение (ВУЗ), тоже самое касается преподавательского состава;
- простота системы позволяет интуитивно разобраться в интерфейсе, создавать и управлять своим курсом обучения.

Одним из примеров такой системы управления обучением является система дистанционного обучения Moodle. Данная система обучения применяется в нескольких технических ВУЗах Санкт-Петербурга, таких, как БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д. Ф. Устинова, ЛЭТИ, Политех и др.

Moodle [5] – это онлайн платформа для управления обучением, которая позволяет преподавателям создавать и администрировать собственные онлайн-курсы, строить свою программу обучения. Также, ядро представленной системы имеет гибкую систему настройки и несет в себе множество стандартных функций.

Основным преимуществом, из-за которого система так востребована, является ее доступность, она распространяется бесплатно. Система была создана М. Дугиамасом (Martin Dougiamas) из Австралии, в основу которой была заложена теория социального конструктивизма [6].

Несмотря на популярность данной платформы она имеет недостатки. Основным недостатком является несовершенство программируемого кода, точнее, его уязвимость для взломов. Более подробные уязвимости изложены в статье [7].

Конечно же, финансовые возможности играют очень важную роль в выборе цифрового продукта руководителями ВУЗов и это хорошо, что есть такие доступные системы дистанционного управления обучением, которые просты в эксплуатации и отвечают всем основным потребностям на сегодняшний день.

Но есть и другие интересные продуктовые решения, которые выбирают технические ВУЗы, рассмотрим систему дистанционного управления обучением на примере Венского технического университета (TU Wien).

TU Wien разработала собственное рабочее пространство TU coLAB для сотрудников и студентов университета на базе платформы Atlassian Confluence [8]. Пример рабочего окна пространства TU coLAB представлено на рис. 1.



Рис. 1. Пример рабочего окна пространства TU coLAB

Сотрудники или партнеры по сотрудничеству TU Wien могут создавать совместные пространства для исследований, преподавания и управления процессами обучения. Например, пространства для управления совместными проектами, сообществ или базы знаний могут редактироваться всеми участниками пространства. Данная платформа предназначена для поддержки внутри организованного обмена информацией, содействия совместному обмену знаниями (Co-Creation) и тестирования сценариев приложений. TU coLAB создан как платформа для совместной работы цифровым офисом TU Wien, который занимается поддержкой, администрированием работы платформы и дальнейшим ее развитием.

По результатам проведенного анализа по применению цифровых технологий в онлайн обучении в технических вузах в условиях пандемии можно сделать вывод, что большинство ВУЗов, так или иначе, приспособились к новым способам дистанционного обучения с применением системы управления обучением. Руководители учебных заведений имеют широкий вы-

бор различных платформ, кто-то выбирает бесплатные сервисы по своим финансовым и ресурсным возможностям, а кто-то даже создает свои пространства и очень активно внедряет цифровые технологии в повседневную учебную деятельность. Можно с большой уверенностью сказать, что пандемия COVID-19 подтолкнула весь учебный процесс к переходу в цифру и руководители ВУЗов должны создать новую модель системы обучения, которая бы могла обеспечивать гибкость между офлайн и онлайн обучением.

Научный руководитель – профессор, доктор экономических наук А. Д. Шматко.

Библиографический список

1. COVID-19 Educational Disruption and Response. UNESCO. – URL: <https://en.unesco.org/covid19/educationresponse> (дата обращения: 25.03.2021).
2. National learning platforms and tools. UNESCO. – URL: <https://en.unesco.org/covid19/educationresponse/nationalresponses#EASTERN%20EUROPE%20&%20CENTRAL%20ASIA> (дата обращения: 26.03.2021).
3. How countries are using edtech (including online learning, radio, television, texting) to support access to remote learning during the COVID-19 pandemic. The World Bank. – URL: <https://www.worldbank.org/en/topic/edutech/brief/how-countries-are-using-edtech-to-support-remote-learning-during-the-covid-19-pandemic> (дата обращения: 26.03.2021).
4. Distance learning solutions. UNESCO. – URL: <https://en.unesco.org/covid19/educationresponse/solutions> (дата обращения: 26.03.2021).
5. About Moodle. URL: https://docs.moodle.org/310/en/About_Moodle (дата обращения: 26.03.2021).
6. Philosophy Moodle. – URL: <https://docs.moodle.org/310/en/Philosophy> (дата обращения: 27.03.2021).
7. Шматко А. Д., Попова И. И. Использование системы дистанционного обучения Moodle при реализации образовательных программ // Материалы научно-методической конференции СЗИУ – филиала РАНХиГС, №1, 2015, С. 121 – 128.
8. TU coLAB Start. – URL: <https://colab.tuwien.ac.at> (дата обращения: 27.03.2021).

УДК 374.1

ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОЕКТНЫХ ГРУПП СТУДЕНТОВ НА БАЗЕ ЦНТТС БГТУ «ВОЕНМЕХ», КАК ИННОВАЦИОННЫЙ МЕТОД ОБУЧЕНИЯ

Д. К. Дмитриев, В. А. Толстая

Балтийский государственный технический университет «Военмех» им. Д. Ф. Устинова

Из года в год темпы развития методов и технологий в различных областях науки и техники растут. Эта тенденция не обошла и сферу образования. По этой причине, чтобы ВУЗу оставаться конкурентно способным, ему необходимо не только внедрять уже существующие технологии и методики обучения, но и разрабатывать новые, которые бы позволили в значительной степени повысить уровень подготовки его выпускников.

Исходя из этого, в БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д. Ф. Устинова был организован, а в данный момент активно функционирует Центр научно-технического творчества студентов (далее ЦНТТС), основная цель которого – повышение качества подготовки обучающихся за счёт их привлечения к научно-технической деятельности в ВУЗе.

ЦНТТС способствует вузу в решении следующих вопросов социально-экономического развития региона: повышение уровня профессионального мастерства кадров для высокотехно-

логичных отраслей производства и науки, участие в создании научно-технического задела для инновационного развития страны, популяризация научной деятельности среди молодежи, популяризация ракетно-космической деятельности, вовлечение учащихся в наставничество, создание наставнических связей предприятие-вуз-школа, патриотическое воспитание молодежи, способствование развитию предпринимательской деятельности, за счет поддержки коммерциализации результатов научной деятельности.

Среди основных задач ЦНТТС:

- Организация и поддержка творческой коллективной научно-технической работы студентов, с целью углубления и закрепления знаний по изучаемым дисциплинам, приобретения ими дополнительных профессиональных навыков и компетенций в процессе практической научно-исследовательской, проектно-конструкторской и организационной деятельности.

- Методическая работа по ведению научно-практической деятельности для студентов. Проведение семинаров, мастер-классов, встреч с экспертами и специалистами профильных предприятий.

- Развитие системы наставничества среди студентов и школьников.

- Развитие материально-технической базы и площадок для осуществления научно-исследовательской и научно-технической деятельности студентов.

- Популяризация науки и поддержка студентов в конкурсной деятельности.

В состав ЦНТТС входит **Студенческое конструкторское бюро моделизма** (далее СКБМ) и **Студенческое конструкторское бюро «ВОЕНМЕХ»** (далее СКБ «ВОЕНМЕХ»). Также ЦНТТС курирует деятельность факультетских и кафедральных студенческих научно-практических групп и кружков.

Основным направлением деятельности **СКБМ** является создание спортивных, показательных и экспериментальных моделей ракет, а так же стартового и различного специального оборудования, необходимого для пусков моделей ракет. СКБМ ориентировано на обучение студентов младших курсов начальным техническим навыкам и является первой ступенью в научно-техническом творчестве студентов. В состав СКБМ входят один руководитель и порядка 20 студентов.

СКБ «ВОЕНМЕХ» ведет свою деятельность в направлениях профильных вузовских факультетов: А – Ракетно-космической техники, Е – Системы вооружения, И – Информационные и управляющие системы. По каждому направлению, под руководством наставников и руководителей направлений – специалистов университета или профильных организаций, организована научно-исследовательская работа студенческих проектных групп. В данный момент осуществляют работу 20 проектных групп, в каждой из которых в среднем по 4 человека. Проектная деятельность СКБ нацелена на обучение и повышение инженерно-технических навыков и компетенций в процессе коллективного творчества и сформирована по принципу самоорганизующихся разновозрастных сообществ и системы наставничества. Такой подход позволяет развивать инициативную активность среди молодежи; способствует подготовке научно-педагогического кадрового состава ВУЗа, воспитанию лидерских качеств, ответственности, умению работать в команде, формированию навыков наставничества; развивает способность строить горизонтальные связи, повышает эффективность практического обучения студентов.

Несмотря на то, что во многих ВУЗах уже существуют подобные организации, Центр научно-технического творчества студентов в БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова качественно отличается от них интегрированностью проектной деятельности участника СКБ в учебную. Данное решение позволяет работать над проектами неотрывно от обучения, используя информацию, получаемую на учебных занятиях, а также защищать курсовые и дипломные работы и проекты при помощи отчетной документации, полученной во время или в результате работы над проектом в ЦНТТС, если данный проект соответствует направлению обучения.

Участие студентов в ЦНТТС позволяет им получать актуальную информацию о проводимых региональных, общероссийских и международных конференциях и конкурсах, быть

заранее к ним готовыми, а также регулярно принимать участие в них, в том числе и в конкурсах, направленных на финансовую поддержку инновационной деятельности. Наставники Центра учат студентов, а также помогают им правильно оформлять заявки на гранты, защищать результаты интеллектуальной деятельности, получать научные консультации и организовывать проектную работу с учётом существующих стандартов и современных подходов в управлении проектной деятельности. Результатом деятельности ЦНТТС, помимо всего прочего, являются регулярные победы молодых Военмеховцев в Общероссийских конкурсах высокого уровня, получение финансирования стартапов и увеличение количества патентов на изобретения и полезные модели [1].

Также для достижения студентами за время обучения более высоких результатов в научно-техническом творчестве и повышения их заинтересованности в работе над научно-техническими проектами ЦНТТС в рамках профориентационной и наставнической деятельности сотрудничает с Петербургскими школами и юношескими клубами. Студенты старших курсов курируют школьные кружки по современным направлениям технического творчества. Таким, как аддитивные технологии, робототехника, автоматическое проектирование, космическая техника и др, а с некоторыми реализует совместные проекты по направлениям обучения в университете. В результате данной работы абитуриенты при поступлении в ВУЗ уже будут подготовлены к научной и проектной деятельности и с начальных курсов начнут работу в составе команды студентов СКБ «ВОЕНМЕХ» по уже знакомому проекту. Или же будут иметь достаточный научно-практический задел для работы над новым проектом.

Работу проектных групп студентов, состоящих в ЦНТТС, поддерживает объединение научных кураторов из состава профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов. Кураторы осуществляют методическую и практическую помощь студенческим коллективам в решении сложных научно-технических задач при реализации ими проектной деятельности, а также оказывают содействие членам студенческих творческих коллективов в области экспертной оценки научных и научно-практических работ [2].

По результатам работы ЦНТТС за прошедший год многие студенты, состоящие в СКБ «ВОЕНМЕХ» получили поддержку как личных, так и групповых проектов, участвовали во многих общероссийских и международных конференциях и конкурсах, показав при этом высокие результаты и занимая призовые места. Также для привлечения молодёжи в науку ЦНТТС организовал на базе БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д. Ф. Устинова регулярную общероссийскую молодёжную научно-техническую конференцию «Молодёжь. Техника. Космос», которая также проходит и в 2021 году [3], конкурс лучших научно-технических идей для студентов, аспирантов, молодых ученых и специалистов проводится с целью популяризации научной и научно-технической деятельности молодежи «БУДУЩЕЕ В ЧЕРТЕЖАХ» и впервые в 2021 году проводится онлайн конкурс «Space Green Word», направленный на развития совместно творческого и технического аспектов мышления.

Библиографический список

1. Кузьмин А. М., Охочинский М. Н. БГТУ «ВОЕНМЕХ»: система подготовки инженерных кадров и научно-исследовательская деятельность // Труды XIII Всероссийских научных чтений «Научно-технические проблемы в промышленности: Будущее сильной России – в высоких технологиях». СПб: 2019. С. 175 – 189.
2. Шматко А. Д. Направления формирования кадров для высокотехнологичных инновационных предприятий // Экономика и предпринимательство. №9, 2013. С. 602 – 607.
3. XIII Общероссийская молодёжная научно-техническая конференция «Молодёжь. Техника. Космос». К 60-ти летию полета в космос Ю.А. Гагарина. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.voenmeh.ru/science/conferences/mtk-2021>.

**ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ИГРОФИКАЦИИ К КУРСУ
«НАВИГАЦИЯ И БАЛЛИСТИКА»**

А. В. Кириллов

Балтийский государственный технический университет «Военмех» им. Д. Ф. Устинова

Статья создана в рамках выполнения задания по предмету «Инновационные образовательные технологии в высшей школе». В ней производится анализ возможности применения метода игрофикации к изучению навигации и баллистики.

Введение. В настоящее время информатизация предоставила возможность проложить путь к «свободной» информации, создать обширные объемы знаний, вобравшие в себя весь опыт поколений. Сегодня любой человек в течение нескольких минут, при условии технической возможности, может получить информацию из любой доступной области знаний. Однако уровень таких знаний, зачастую не подкрепленный фундаментальной теорией в интересующей области, носит весьма поверхностный характер. При всем при этом, даже подобный уровень «эрудированности» мало распространен.

Человек, как часть живой природы, подвержен ее фундаментальному стремлению и принципу – минимизировать затрачиваемую энергию, увеличивать энтропию. Созидательная, же деятельность требует существенных энергозатрат. Что может сподвигнуть человека к подобному?

Мотивация – конечная ценность усилий – то, что двигает человеком, что знаменует сам смысл деятельности [1]. По источнику воздействия разделяют внутреннюю – индивид самостоятельно побуждает себя к деятельности, и внешнюю – обстоятельства и (или) другие индивиды создают мотивацию, а по виду действия – положительную и отрицательную, которые соответственно вызываются положительными и отрицательными эмоциями.

Игрофикация. Люди постоянно подвержены эмоциям, но среди трех столпов человеческой деятельности: игры, учебы, труда; наиболее сильные и яркие эмоции вызывает игра – деятельность, мотив, который лежит не в результате, а в самом процессе.

Процесс приведения неигровых процессов к игровой мотивации сегодня получил наименование игрофикация (геймофикация). Рассмотрим ее основные аспекты.

1. Динамика – создание обстановки, акцентирующей внимание и не дающей возможности отвлечься на иную деятельность. Зачастую базируется на взаимодействии между постоянно изменяющейся обстановкой и реакции на нее в реальном времени.

2. Механика – создание сценарных элементов, характерных для игровых взаимодействий. Это могут быть:

3. игрок – индивид, принимающий участие в игре;

4. создание легенды – позволяет вызвать чувство причастности к какому-то значимому процессу, а возможность прямого влияния на него вызывает сильный эмоциональный отклик;

5. уровень – присвоение игроку показателя для оценки его возможностей (компетентности) и введения для него ограничений, связанных с игровым процессом;

6. выдача заданий / поручений, соответствующих его уровню, выполнение которых приведет к положительному результату. Это снимает чувство неуверенности и позволяет сосредотачиваться на качественном выполнении поставленных задач / поручений.

7. очки за выполнения заданий / поручений – позволяют поднять уровень игрока и расширить его игровые возможности;

8. награды за выполнение заданий / поручений. Помимо очков, игрок может получить в качестве поощрений небольшие награды, напрямую влияющие не его игровой процесс;

9. статус – положение в игровой среде. Предоставляется возможность демонстрации своих достижений, успеха, показать свою значимость;

10. и т.п.

11. Социальное взаимодействие – взаимодействие между игроками, которое обеспечивает конкуренцию и рождает дух соперничества, что в результате приводит к максимально самоотдаче.

12. Обратная связь. Обеспечивает постепенное динамичное погружение в более сложные моменты, определяет новые связи и цели, прививает чувство азарта, пробуждает любопытство и интерес.

Навигация и баллистика. Задолго до того, как была разработана современная физическая модель мира, а современная научная школа оформилась в то, что мы наблюдаем сейчас, люди изучали окружающий мир сугубо эмпирическим путем. Зависимости находились методом проб и ошибок, копились опытные данные, которые спустя много веков станут опорой стройной теории.

Подобным образом развивалась баллистика. Камень в руках первобытного охотника, заменяется первым простейшим метательным устройством – пращей, а заточенная палка для стабилизации обзаводится оперением. Метательные машины снаряжаются первыми простейшими устройствами наведения, а пристрелочные таблицы, впоследствии названные баллистическими, используются для их эффективного использования. Механическая энергия заменяется химической, происходит переход к совершенно иным скоростям.

Таким же путем развивалась навигация. Караван, преодолевающий пустыню, ориентируется уже не только по звездам, а использует последнее достижение техники, указывающее направление на север – компас [2]. Сейчас любой телефон предоставит геопозицию с точностью до нескольких метров, чего ранее было невозможно добиться с помощью «простейших» приборов, обладающих низкой точностью – хронометра и секстанта.

Практическая необходимость, как внешняя мотивация, обеспечила развитие этих направлений: требуется добраться от порта А до порта Б – необходимо правильно проложить маршрут и пройти по нему, при этом следует учесть какой будет ветер и как будет сносить корабль волнами; требуется попасть в мишень на большом расстоянии – следует учесть все необходимые поправки – температуру, давление и не забыть про вращение Земли.

Таким образом, самым эффективным способом рассмотрения и знакомства с методами навигации и баллистики являются их практическая апробация в реальных или приближенных к реальным условиям. Это, в свою очередь, является наглядным пособием обучения и способствует созданию запоминающихся образов, связанных с фактическими знаниями, т.е. «созданию инструмента», как самого благоприятного способа обучения (по причине того, что невозможно создать инструмент без глубокого понимания его работы). К сожалению, подобное сложно реализовать в практических условиях, но доступно в компьютерных симуляторах, что нашло широкое применение в обучении.

Симуляции. Песочница – жанр компьютерных игр, помещающий игрока в «мир», где он предоставлен сам себе, и ограничен лишь «физическими» законами самого мира.

Создание песочницы на основе реальной физической картины мира, позволит создать отличный полигон для отработки методов баллистики и навигации. Подобный подход к решению задачи обучения с использованием компьютерных симуляторов уже используются. Рассмотрим широко известные космические симуляторы.

Apollo 18: Mission to the Moon (1988) является одной из первых игр, представляющей собой реалистичный симулятор космоса, предлагает симуляцию вымышленной экспедиции «Аполлон 18», в которой требуется пройти все этапы миссии с посадкой на Луну и последующим возвращением на Землю, во время которых нужно вывести ракету на околоземную орбиту, выполнить стыковку и орбитальные манёвры для достижения Луны, произвести посадку, решить задачи экспедиции.

Microsoft Space Simulator (1994), разработанная и изданная компанией Microsoft, является одной из первых, игр, моделирующих астродинамику и небесную механику.

Orbiter (2000 г.) использует классическую механику для моделирования поведения космических аппаратов и других объектов Солнечной системы.

Space Engineers (2013) знакомит с космическими инфраструктурами – методами строительства, обслуживания космических кораблей и станций, исследованиями планет и астероидов.

Kerbal Space Program (2015) – идейный продолжатель Apollo 18: Mission to the Moon и Microsoft Space Simulator. Игрок самостоятельно создает космическую программу, которая развивается под его управлением – конструирует космические ракеты и самолёты, запускает их.

Основываясь на вышеизложенной информации о игрофикации и навигации с баллистикой, а также практических примерах, можно прийти к следующим предложениям по созданию эффективного метода обучения навигации и баллистике.

1. Создание единой виртуальной среды, где игроки могут взаимодействовать и влиять на «физический мир» в рамках доступных (в соответствии с уровнем) инструментов.

Открывает широкий простор для самостоятельности как в индивидуальном порядке, так и для коллективов.

2. Уровень – является показателем возможности взаимодействия с «миром» и доступным для этого инструментом.

3. Игровые ситуации (легенды), отвечающие замыслу обучения, предоставляются игрокам по мере их игры, как организаторами игры, так и самими игроками.

Заключение

Из проделанной работы следует, что:

- Существует принципиальная возможность организации обучения навигации и баллистике с использованием методов игрофикации.
- Симуляция виртуальной среды, приближенной к реальным физическим законам и апробация изучаемых методов в ее условиях, позволяет создать эмоциональные образы.
- Необходимо создавать условия, для взаимодействия игроков, так как в конечном счете это нужно для углубления понимания «мира».

Основным путем дальнейшего развития метода обучения следует принять разработку обучающих программ симуляторов, реализующих единое виртуальное пространство, в достаточной мере отражающее реальные физические процессы.

Научный руководитель – д.т.н., профессор О. А. Толпегин.

Библиографический список

1. *Леонтьев А. Н.* Развитие памяти [1931] // В кн.: *Леонтьев А. Н.* Становление психологии деятельности: Ранние работы / Под ред. А.А. Леонтьева, Д.А. Леонтьева, Е.Е. Соколовой. М.: Смысл, 2003а. С. 27 - 198.

2. *Селезнев А. Е.* Основы навигации. Практический опыт капитана. Новороссийск: МГА имени адмирала Ф.Ф. Ушакова, 2008. 174 с.

ИННОВАЦИОННЫЕ МЕТОДЫ И ПОДХОДЫ ОБУЧЕНИЯ ИНОСТРАННОМУ ЯЗЫКУ В ВЫСШЕЙ ШКОЛЕ

И. Д. Костин, Ю. В. Фадеева

Балтийский государственный технический университет «Военмех» им. Д. Ф. Устинова

Изучение иностранных языков занимает особое место в системе высшего образования. Новая социально-экономическая, политическая и информационная ситуации повышают требования к уровню языковой подготовки молодых специалистов. В условиях процесса глобализации и интернационализации важно развивать и поддерживать интерес к изучению иностранных языков, а также обеспечить необходимый для этого контент.

Целью данной работы является рассмотрение проблематики изучения иностранных языков в современной высшей школе, существующих инновационных образовательных технологий, их проблематики и методики систематизации.

Достижимость эффективного изучения иностранного языка является одной из проблем на этапе обучения. Низкая заинтересованность, неумение студента организовать свою деятельность, разный начальный уровень владения иностранным языком на момент поступления в высшую школу и количество обучающихся в группе – есть факторы, влияющие на эффективность изучения.

Для повышения эффективности изучения была создана система уровней владения иностранным языком «Общеввропейские компетенции владения иностранным языком: изучение, преподавание, оценка» («Common European Framework of Reference: Learning, Teaching, Assessment») (таблица 1) [1]. Она определяет программы преподавания иностранного языка, начиная с постановки задач – целей обучения и завершая достигаемыми в результате этого процесса компетенциями. Компетенция — это совокупность необходимых знаний, которыми должен обладать человек, чтобы использовать эти знания в коммуникации, кроме того, знания и навыки, которые необходимы ему для успеха в профессиональной деятельности.

Таблица 1
Шкала уровней владения иностранным языком

А – Элементарное владение (Basic User)	A1 – Уровень выживания (Breakthrough)
	A2 – Предпороговый уровень (Waystage)
В – Самостоятельное владение (Independent User)	B1 – Пороговый уровень (Threshold)
	B2 – Пороговый продвинутый уровень (Vantage)
С – Свободное владение (Proficient User)	C1 – Уровень профессионального владения (Effective Operational Proficiency)
	C2 – Уровень владения в совершенстве (Mastery)

Каждый уровень владения позволяет систематизировать знание языка обучаемого. Каждый уровень предполагает разные компетенции к изучаемому языку. В таблице 2 более подробно указаны достигаемые компетенции знания иностранного языка на каждом уровне его владения.

Таблица 2

Подробная шкала уровней владения иностранным языком

Элементарное владение	A1	Учащийся вполне может употребить начальные элементарные фразы в разговоре, рассказать немного о себе, своих увлечениях и пр. и понять элементарные фразы, ответить на простые вопросы.
	A2	Человек понимает предложения и фразы, связанные с основными сферами жизни, более подробно может рассказать о них. Может общаться с собеседником на бытовые темы, обобщенно описать основные аспекты жизни. (Работа, учеба, шоппинг, семья, хобби и пр.)
Самостоятельное владение	B1	На этом уровне человек уже может составить сообщения на различные темы, в том числе литературные, а также типичные бытовые. В большинстве ситуаций пребывания в иностранной стране сможет понять собеседника и задать вопрос. Может описать впечатления, мечты, планы, мнение, разговаривать на интересующие темы.
	B2	Человек понимает сложные тексты, в том числе не бытовые, уже достаточно бегло и четко говорит на языке, речь формирует быстро и правильно. Может изложить свое мнение о проблеме, указать преимущество и недостатки.
Свободное владение	C1	Понимает объемные сложные тексты на различные темы, умеет находить скрытое значение в них. Говорит и пишет в быстром темпе и правильно, гибко пользуется языком. Может построить сложные сообщения на сложные темы.
	C2	Быстро и правильно говорит даже в сложных ситуациях, легко понимает письменную и устную речь.

Такая шкала позволяет чётко определять уровень компетенции обучаемого, а также значительно упрощает подход к обучению. Так же данные уровни компетенции признаются международным законодательством в сфере владения языками. Для международного общения нельзя пренебрегать правилами изучения языка, установленные носителями для иностранных граждан. Поэтому в высшей школе важно создать комфортную среду для внедрения основных стандартов обучения, признанных в общемировой практике.

Рациональное использование такой шкалы обучения приведёт к выпуску более качественно подготовленных специалистов. Однако, стоит отметить проблематику квалификации персонала высшей школы. Для внедрения такой шкалы необходим опыт сертификации специалистов в области общеевропейской компетенции знания языка.

Квалификация специалистов определяется с помощью специальных сертификатов, которые лицензированы национальными институтами иностранной культуры. Для их получения необходимо пройти ряд тестов на экзамене, которые включают в себя 4 блока: устная часть (говорение), аудирование (слушание), чтение, письменная часть (письмо). Каждый из блоков показывает компетенции экзаменуемого в каждой области языкового владения. Уровни компетенций по грамматике и словарному запасу оцениваются отдельно на протяжении всего экзамена. Такие тесты проводятся в аккредитованных организациях Кембриджского университета (Cambridge English Language Assessment) [2], Института имени Гёте (Goethe-Institut) [3], Института Сервантеса (Instituto Cervantes) и т.д.

Данный опыт при подготовке к таким тестам приводит к повышению эффективности обучения иностранному языку. Специалисты будут готовы к внедрению подходов к обучению студентов по системе, признанной в мировой практике для обучения языкам. Такой подход

будет способствовать выпуску специалистов мировой практики, что позволит привлечь международный опыт.

Однако, это не решит проблему дифференциации поступающих на начальном этапе их обучения. На практике в университетах, где внедрена система компетенций владения иностранным языком, поступающих при помощи теста разделяют на группы, соответствующие уровню их компетенции. Все тесты разработаны по формату экзамена для определения степени владения языком. По результатам проверки поступающих делят на языковые группы, в которых они обучаются в соответствии с их уровнем иностранного языка. Учебный процесс строится индивидуально для каждой группы, согласно стандартам методик обучения.

При проведении аттестации обучающийся должен показать уровень своей компетенции, и по ее результатам студент получает возможность перейти на другой уровень обучения языка. Поскольку языковые уровни не привязаны ко времени, а являются индивидуальным желанием изучать язык студентом, можно управлять уровнем языка во всём университете [4]. Образовательная организация сможет гарантировать знания языка на соответствующем уровне и управлять этим уровнем, исходя из своих ресурсов и желаний.

Внедрение такой системы и поддержания её функционирования потребует привлечения многих ресурсов высшего учебного заведения, таких как: вовлечённость персонала, время, требуемое для усвоения материала студентами, поддержание контроля уровня компетенций студентов. С другой стороны, за последний год свою эффективность показали при массовом внедрении информационные и дистанционные методы обучения. Для иностранных языков такие методы стали важным инструментом для вовлечения обучаемых в образовательный процесс.

Использование образовательных платформ и программ позволяют повысить эффективность обучения, сделав его более интересным и динамичным [5]. Данный подход имеет ряд преимуществ:

1. Проведение тестирований с использованием информационных технологий помогает сэкономить время на получение обратного ответа.
2. Использование онлайн-платформ позволяет студенту самостоятельно выбрать время для его прохождения.
3. Структура обучающей программы способствует наработке навыков грамматики, письма, аудирования и правильного произношения.
4. Игровая форма программ способствует эффективному закреплению пройденного материала.

В программах и образовательных платформах возможно применение уровневой и рейтинговой системы, что повышает стимул к дальнейшему изучению [6]. В некоторых продуктах также реализован доступ к информационным материалам.

Данный подход можно использовать в качестве домашнего задания и промежуточных тестов для закрепления материала.

Применение дистанционного обучения на практике позволяет снизить дистанцию между преподавателем и студентом, и экономит время. Некоторые студенты плохо разговаривают или им тяжело заговорить на изучаемом иностранном языке, дистанционное обучение может способствовать более комфортной, разряженной атмосфере для разговора. Студент в это время находится у себя дома или в другой комфортной для него обстановке, что облегчает его психологическое восприятие языка. Также в комплексе с информационными технологиями можно записать беседу с целью дальнейшей оценки или более подробному изучению. Недостатком цифровизации и дистанционализации обучения является необходимость доступа к персональным электро-вычислительным машинам с выходом в интернет и периферийным устройствам к ним [7].

Эффективный подход к обучению студентов иностранному языку позволит внедрить преподавание основных предметов кафедры по специальности на иностранном языке. На практике университетов – это снижает барьер студента к изучению иностранной литературы,

позволяет более широко рассматривать область специализации в будущем и выйти студенту на уровень международных конференций.

Основной проблемой обучения иностранному языку можно считать не вовлеченность участников учебного процесса. Изучение иностранного языка традиционно считается трудоёмким. Навык языка очень практичен для будущей учёбы и работы, но на этапе изучения результаты часто не наблюдаемы. Однако метод обучения по уровням снижает временной результативный промежуток.

Данные методы и подходы внедряются в университеты для повышения качества образования. Они обладают рядом преимуществ, которые в перспективе должны увеличить средний уровень подготовки молодых специалистов.

Научный руководитель – д.э.н., профессор А. Д. Шматко.

Библиографический список

1. Common European Framework of Reference [Электронный ресурс]. URL: <https://ec.europa.eu> (дата обращения: 22.03.2021).

2. ALTE, The Alte Can Do Project [Электронный ресурс]. URL: <https://www.cambridgeenglish.org> (дата обращения 22.03.2021).

3. Goethe Institut [Электронный ресурс]. URL: www.goethe.de (дата обращения 22.03.2021).

4. Шматко А. Д., Ч. Ли, Г. Пэн, Х. Ши. Вопросы управления образовательными организациями в изменяющихся экономических условиях разработка программ профориентации студентов // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. 2019. № 12-1(39). С. 159 – 164.

5. Образовательные платформы. [Электронный ресурс]. URL: infoselection.ru (дата обращения 23.03.2021).

6. Суханов А. В., Шматко А. Д. Сравнительный анализ влияния использования инновационных технологий на очное и заочное обучение в высшей школе // Скиф. Вопросы студенческой науки. 2020. № 3(43). С. 210 – 213.

7. Шматко А. Д., Самодуров А. А., Зеновский Е. Б. Перспективы использования системы дистанционного обучения Moodle в образовательном процессе вузов // Ученые записки Международного банковского института. 2015. № 11-1. С. 46 – 56.

УДК 378

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ОБРАЗОВАТЕЛЬНОМ ПРОЦЕССЕ НА КАФЕДРЕ «РАДИОЭЛЕКТРОННЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ» БГТУ «ВОЕНМЕХ» ИМ. Д. Ф. УСТИНОВА

М. А. Крылова

Балтийский государственный технический университет «Военмех» им. Д. Ф. Устинова

Статья написана в рамках работы по дисциплине «Инновационные образовательные технологии в высшей школе».

Цифровые технологии стали неотъемлемой частью преподавания в системе высшего образования благодаря не только научному прогрессу и развитию цифровой индустрии, но и внешним факторам (например, введение режима самоизоляции в 2020 году в связи с пандемии-

ей) [1, 2]. Цифровая трансформация образовательного процесса на кафедре «Радиоэлектронные системы управления» Балтийского государственного технического университета «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова уже на протяжении нескольких лет открывает новые возможности для обучения учащихся и формирования у них компетенций, требуемых современным обществом. Способность эффективно пользоваться цифровыми материалами и сервисами в профессиональной сфере, информационная грамотность, коммуникация и сотрудничество через цифровые технологии – все эти качества могут быть получены будущими специалистами на различных этапах профессионального обучения благодаря усовершенствованию старых и интеграции новых методов преподавания в образовательный процесс.

В качестве образовательных ресурсов для обучающихся высшего учебного заведения базовой частью являются учебная литература и лекции преподавателей [3]. Цифровые технологии меняют не только характер проводимых занятий за счет внедрения динамических материалов (презентации PowerPoint, анимированные модели), но и позволяют их оцифровать: видеозаписи лекций помогают сохранить информацию на долгое время, сайты видеохостингов могут сделать видеоматериал общедоступными и предоставить доступ к нему в любое время из любого места, только необходим интернет. Также преимуществом данного подхода к образовательному процессу является тот факт, что учащийся может сам выбрать свой темп для изучения видеофайлов. Но есть и недостатки – преподавателю необходимо дополнительное время на подготовку материала и требуется соответствующая техническая поддержка.

Уже на протяжении нескольких лет преподаватели кафедры «Радиоэлектронные системы управления» проводят лекции-семинары по различным тематикам кафедры (электродинамика и распространение радиоволн, антенная техника, электромагнитная совместимость и радиоэлектронная борьба), которые записываются на видеокамеру. Даже спустя несколько лет после проведения такой лекции слушатели курса могут ознакомиться с её видеоматериалами, посмотреть их повторно, чтобы разобраться во всех мелочах и полностью усвоить полученную информацию.

Учебная литература и пособия являются важными источниками знаний по различным дисциплинам. С помощью учебных изданий учащийся высшего учебного заведения может не только самостоятельно изучать предмет и совершенствовать свои знания, но и получать информацию из нескольких источников, что позволит подробнее рассмотреть изучаемую тему. Обучающиеся кафедры имеют доступ к электронным библиотечным системам (ЭБС Фундаментальной библиотеки БГТУ «ВОЕНМЕХ» library.voenmeh.ru, ЭБС «Лань»), что позволяет им пользоваться обширным количеством учебного материала в электронной форме, в том числе и специализированной литературой, написанной сотрудниками кафедры. Электронные книги пользуются большой популярностью среди обучающихся (об этом будет сказано позднее, рис. 3): к цифровой литературе имеется круглосуточный доступ, она компактна (на одном электронном носителе может находиться большое количество книг), также электронными изданиями удобно пользоваться (можно выделять нужные фрагменты, устанавливать закладки, изменять стиль отображения текста).

В настоящее время, благодаря глобальному охвату сети Интернет и широкому распространению электронных устройств (смартфонов, компьютеров, ноутбуков), появилась возможность проводить удалённые занятия с помощью технологии видеоконференцсвязи в случае введения режима дистанционного обучения или физического отсутствия преподавателя в учебном учреждении. Каждый сотрудник и обучающийся кафедры имеет индивидуальный авторизованный доступ с любого устройства к аккаунту на платформе «Jitsi.voenmeh.ru». В назначенное преподавателем время или в соответствии с расписанием занятий на сервере платформы создается видеоконференция, куда подключаются обучающиеся и преподаватель в независимости от их месторасположения для проведения занятия и совместной работы.

Платформа «Jitsi.voenmeh.ru» использовалась для проведения защит выпускных квалификационных работ (ВКР) бакалавров, специалистов и магистров кафедры «Радиоэлектронные системы управления» в июне 2020 г. и в январе 2021 г. В соответствии с Положением о про-

ведении защит выпускных квалификационных работ с применением дистанционных образовательных технологий в БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д. Ф. Устинова от 12.05.2020 был организован процесс удаленной итоговой аттестации обучающихся, который базировался на использовании цифровых систем. При выполнении выпускных работ обучающиеся осуществляли общение и обмен материалами с руководителем и консультантами посредством использования корпоративной электронной почты (mail.voenmeh.ru). Готовые работы и необходимые документы для защиты выпускники загружали в электронном виде на платформу облачного хранилища БГТУ «ВОЕНМЕХ» (disk.voenmeh.ru), к которой председатель и члены государственной экзаменационной комиссии имели удаленный доступ (оценка комплектности и ознакомление с материалами ВКР). В день проведения защиты выпускных работ председатель и члены комиссии, находясь в аудитории на кафедре, наблюдали за выступлениями обучающиеся в Jitsi.voenmeh (рис.1). Выпускники без физического присутствия в стенах учебного заведения представляли результаты проведенной работы посредством демонстрации экрана своих электронных устройств с включенной презентацией. После выступления председатель и члены комиссии могли общаться с защищающимися выпускниками, задавать им вопросы и получать ответы в режиме реального времени.

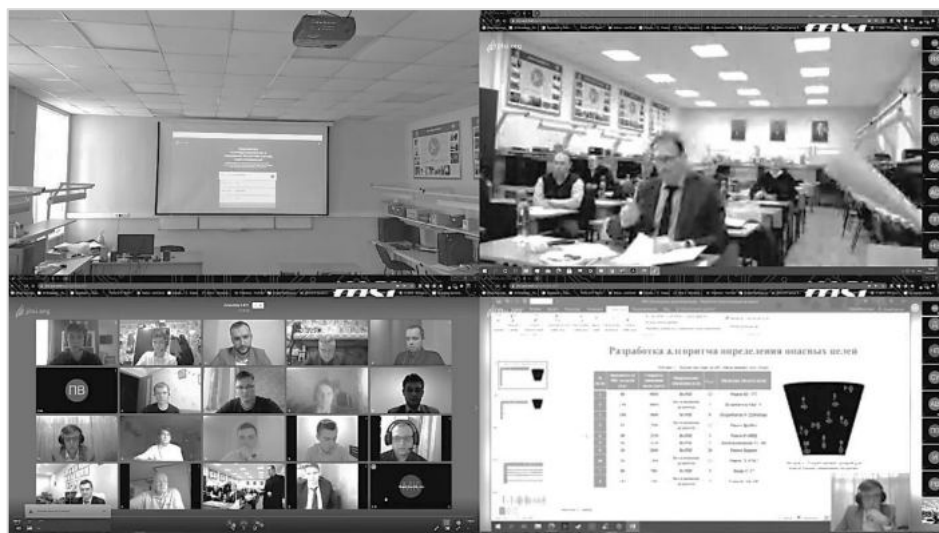


Рис. 1. Защита выпускных квалификационных работ на кафедре «Радиоэлектронные системы управления» в январе 2021 г.

1-й ряд слева: рабочее место (техническое оснащение) для осуществления дистанционной работы председателя и членов комиссии в 436 аудитории; 1й ряд справа: трансляция с членами комиссии из 436 аудитории; 2й ряд слева: скриншот всех участников конференции (выпускники, председатель и члены комиссии); 2й ряд справа: представление результатов работы выпускника посредством демонстрации экрана

Каждый учащийся кафедры «Радиоэлектронные системы управления» имеет доступ к личному кабинету в электронной образовательной системе (ЭОС) Moodle. В ней обучающийся может дистанционно просматривать расписание занятий, ознакомиться с рабочими программами, учебными планами и результатами текущей, промежуточной и итоговой аттестации. Также ЭОС Moodle позволяет преподавателям делиться со слушателями курсов материалами к занятиям, проводить удаленные тестирования обучающихся в режиме реального времени с последующим оцениванием.

Стоит отдельно отметить, что все применяемые цифровые технологии на кафедре «Радиоэлектронные системы управления» соответствуют требованиям Положения об использовании электронного обучения, дистанционных образовательных технологий при реализации образовательных программ бакалавриата, программ специалитета, программ магистратуры СТО.БГТУ.СМК-П-К5-17-18 от 21.02.2018 г.

Цифровизацию образовательного процесса подтверждают не только сотрудники БГТУ «ВОЕНМЕХ» [4], но и обучающиеся. Среди учащихся второго курса кафедры «Радиоэлектронные системы управления» было проведено исследование – какими цифровыми устройствами и технологиями они пользуются при прохождении обучения в высшем учебном заведении. По результатам анализа выяснилось, что из опрошенных 44 учащихся кафедры почти все пользуются смартфоном и компьютером или ноутбуком (рис. 2). Среди обучающихся популярны социальные сети и мессенджеры для организации общения в рабочих группах и между собой при выполнении учебных заданий. Почти все слушатели дисциплин используют при обучении пакет программ «Office» для оформления отчетных материалов и презентаций. Использование специализированного программного обеспечения в академическом процессе позволяет быстро выполнять различные математические расчеты и производить построение графиков (Mathcad, Matlab), программы симулирования и моделирования (Multisim, LabVIEW) используются обучающимися кафедры для более детального изучения радиотехнических систем. Использование ЭБС намного упрощает доступ к методическим пособиям и учебной литературе, необходимым для изучения дисциплин, а платформа Youtube позволяет получать дополнительные знания благодаря просмотру тематических видеороликов.

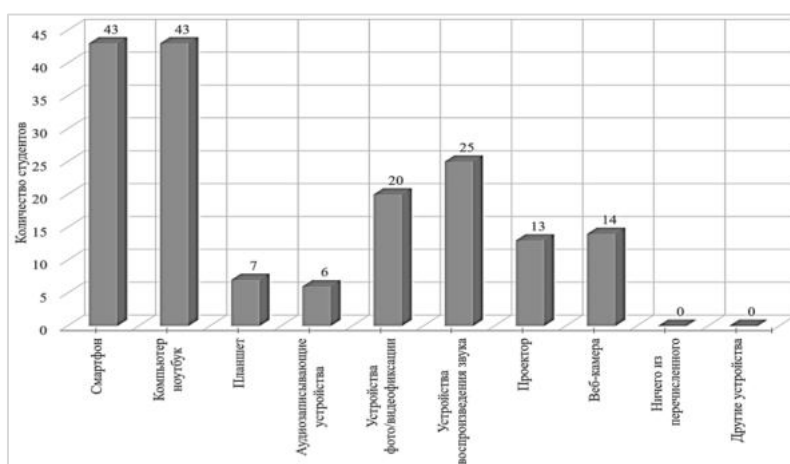


Рис. 2. Результаты опроса «Использование цифровых устройств в образовательном процессе учащимися кафедры «Радиоэлектронные системы управления»

Настоящие результаты подтверждают, что по мере развития технологий в мире педагогические методы обучения адаптируются к ним. Внедрение цифровых технологий в образовательный процесс имеет как свои плюсы, так и минусы. Процесс цифровизации может занимать много ресурсов, поэтому преподавателю потребуется найти компромисс между потраченным временем для подготовки материала и его потенциальным влиянием на обучающегося. Электронные базы данных предоставляют доступ к огромному количеству учебных материалов, которое необходимо правильно систематизировать и обрабатывать. Видеоконференции и электронная почта позволяют работать и общаться слушателям курса и преподавателю практически в любое время и любом месте, но тогда теряется «живое» общение, которое иногда очень необходимо для более быстрого усвоения материала. Электронные ресурсы уже

стали неотъемлемой частью образовательного процесса, но стоит помнить, что цифровые технологии не заменяют преподавателя, а лишь дополняют различные области в образовательной работе.

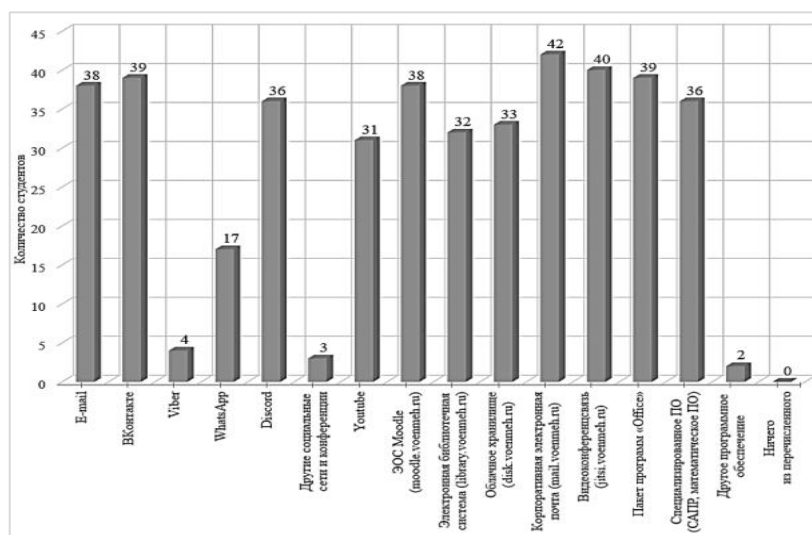


Рис. 3. Результаты опроса «Использование цифровых технологий в образовательном процессе учащимися второго курса кафедры «Радиоэлектронные системы управления»

По мере дальнейшего внедрения новых цифровых технологий и цифровизации/модернизации старых методов проведения процесса обучения, сотрудникам и учащимся кафедры «Радиоэлектронные системы управления» следует не отставать от темпа, задаваемого современным цифровым обществом [5]. Переход к электронным системам требует определенных затрат, но они окупятся в будущем за счет систематизации процесса обучения и существенной экономии времени, которое достигается удаленностью доступа ко многим элементам образовательного процесса.

Научный руководитель – д.т.н., проф. С. Ю. Страхов

Библиографический список

1. Грозава И. И., Шматко А. Д. Анализ передовых практик реализации информационных систем учета достижений студентов российских вузов // Международный журнал гуманитарных и естественных наук, ном. 10-1(49), 2020. С. 61 – 68.
2. Дубинина М. Г. Моделирование влияния цифровых технологий на качественные показатели образования // Управление наукой и наукометрия, vol. 15, no. 4, 2020, pp. 528 – 557.
3. Akbar Monika. Digital Technology Shaping Teaching Practices in Higher Education // Frontiers in ICT, vol. 3, 2016., pp1 // URL: <https://www.frontiersin.org/article/10.3389/fict.2016.00001> (дата обращения: 10.03.2021).
4. В БГТУ «ВОЕНМЕХ» им Д. Ф. Устинова состоялся научно-практический семинар «Цифровая трансформация в науке, производстве и образовании» [Электронный ресурс] // URL: <https://www.voenmeh.ru/news/events/seminar-digital-transformation-in-science-production-and-education-21102020> (дата обращения: 10.03.2021).

5. Иценко А. И., Шматко А. Д. Влияние организационных изменений и цифровизации экономики на процессы управления персоналом // Скиф. Вопросы студенческой науки. 2020. №2(42). С. 18 – 22.

УДК 678.4

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКОГО АНАЛИЗА СТРУКТУРЫ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ КАК ПЕРСПЕКТИВНОГО ПОДХОДА В ОБРАЗОВАТЕЛЬНОМ ПРОЦЕССЕ

И. В. Лихачев

Балтийский государственный технический университет «Военмех» им. Д. Ф. Устинова

Исследование свойств композиционных материалов – это сложный и трудоемкий процесс, требующий четких знаний и навыков. Для того чтобы создать композиционный материал (композит) с заданными свойствами необходимо смоделировать данный материал, используя различные методы анализа влияния друг на друга материалов, входящих в данный композит. Поскольку композиты используются во множестве сфер деятельности человека: машино-, ракето-, авио- и кораблестроении, а также в разных подразделениях военной промышленности, то изучение их свойств является важным процессом [1, 2]. К таким свойствам можно отнести жесткость, долговечность, надежность при работе в агрессивных средах и высоких температурах, при разработке объекта, существенное влияние на процесс проектирования может оказать масса конечной конструкции, а так же ее стоимость. Композиционные материалы позволяют совместить в себе все эти требования для изготовления нового оборудования. Для того чтобы создать композиционный материал с заданными свойствами необходимо смоделировать данный материал используя различные методы анализа влияния материалов, входящих в данный композит, друг на друга [3 – 6].

Организация грамотного образовательного процесса лежит в основе получения применимых, а главное качественных материалов. Поэтому очень важно обратить внимание на подготовку высококвалифицированных кадров, способных не только создать композиционный материал, но и точно спрогнозировать его конечные свойства и свести количество ошибок прогноза к минимуму.

Для того чтобы разработать композиционный материал и проанализировать его свойства обучающимся наиболее часто предлагается использовать метод конечно-элементарных моделей (МЭК). Это численный метод, в основе которого лежит решение дифференциальных уравнений с частными производными и интегральных уравнений. Обучающемуся необходимо решить различные системы уравнений для понимания поведения конечного результата. Основные этапы решения задач с применением МЭК могут быть кратко представлены в виде схемы, представленной на рис. 1.

Одно из основных достоинств данного метода заключается в том, что все расчеты можно автоматизировать, необходимо лишь внести входные данные для начала расчета модели, что лишает необходимости изучения физического и химического взаимодействия материалов и ускоряет процесс анализа. Есть множество программ способных производить подобные расчеты такие как [7 – 9]:

- ANSYS
- ABAQUS
- Зенит-95
- FIDESYS

Также МКЭ позволяет задавать неравномерную сетку разбиения области на элементы, т.е. варьировать размеры элементов при необходимости и позволяет исследовать однородные и неоднородные, изотропные и анизотропные объекты с линейными и нелинейными свойствами.

В качестве недостатка данного метода стоит отметить, что проведенный на его основе анализ свойств и поведения композита в различных условиях может отличаться от поведения реального композиционного материала в тех же условиях. Это проявляется в скачке показателей на конечном графике измерений. Вместе с тем данный метод лишает обучаемого глубокого изучения взаимодействия материалов между собой и не дает полного представления о поведении композитов в заданных условиях.

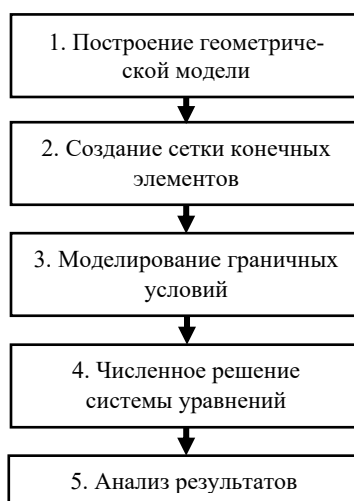


Рис. 1. Основные этапы решения задачи с применением МЭК

Чтобы сохранить точность прогноза, избежать значительных математических вычислений, а также позволить обучающемуся достичь глубокого понимания о взаимодействии материалов, предлагается в процессе обучения использовать метод физико-химического моделирования.

Метод физико-химического моделирования основан на изучении физического и химического взаимодействия функциональных материалов, входящих в состав композиционных материалов. В отличие от МЭК данный метод является аналитическим, а не числовым, что позволяет с наибольшей глубиной изучить влияние одного материала на другой, основываясь на физических и химических законах, и дает возможность спрогнозировать более точные свойства и поведения композиционного материала, сведя к минимуму отклонения свойств расчетного материала от реального.

Оба метода, МФХ и МЭК, предназначены для выполнения одной задачи, смоделировать композиционный материал, который обладает свойствами, удовлетворяющие заданным требованиям к материалу, однако эти два метода существенно отличаются принципом достижения поставленной цели. МЭК, как численный метод, опирается на решении дифференциальных уравнений, которые описывают поведение функциональных материалов в связке друг с другом, в то время как МФХ, использует при моделировании законы и принципы естественных наук. Результаты МФХ продемонстрируют не только зависимости свойств конечного композиционного материала от количества используемого функционального материала, но и достоверный результат модели композита, который будет максимально приближен к реальному композиционному материалу. Такой способ моделирования композита позволит устранить недостаток МЭК, при котором возникают непредвиденные скачки показателей свойств композитов во время проведения испытаний. Помимо предотвращения непредсказуемых

скачков, с помощью МФХ возможно оценить изменения свойств композиционного материала при изменении количества добавленного функционального материала до 1%.

Поскольку метод физико-химического моделирования использует в своей основе законы физики и химии, то применение предлагаемого метода в образовательном процессе даст возможность не только смоделировать композиционный материал с заданными свойствами, но и позволит обучающемуся более детально изучить свойства и влияние материалов друг на друга. Кроме того, данный метод позволит закрепить и улучшить полученные ранее знания в области физики и химии, а также приобрести практические навыки в использовании законов данных естественных наук.

Научный руководитель – д.т.н., проф. А.В. Марков.

Библиографический список

1. Каблов Е. Н., Сагомонова В. А., Сорокин А. Е., Целикин В. В., Гуляев А. И. Исследование структуры и свойств полимерного композиционного материала с интегрированным вибропоглощающим слоем // Все материалы. Энциклопедический справочник. 2020. № 3 С. 2 – 9.

2. Каблов Е. Н., Старцев В. О. Климатическое старение полимерных композиционных материалов авиационного назначения. II. Развитие методов исследования ранних стадий старения // Деформация и разрушение материалов. 2020. № 1. С. 15 – 21.

3. Марков А. В., Ефремов Н. Ю., Орешина О. А. Моделирование свойств полимерных композиционных материалов, используемых в конструкциях летательных аппаратов // Полет. Общероссийский научно-технический журнал. 2020. № 6. С. 12 – 16.

4. Марков А. В., Орешина О. А. Автоматизация процесса принятия решения о составе полимерных композиционных материалов // Автоматизация. Современные технологии. 2020. Т.74. №10. С. 440 – 443.

5. Марков А. В., Орешина О. А. Концепция математического моделирования свойств физико-механических характеристик композиционных материалов // Полет. Общероссийский научно-технический журнал. 2020. № 12. С. 3 – 6.

6. Советов Б. Я., Яковлев С. А. Моделирование систем. М.: Высшая школа, 1988. 135 с.

7. Варжапетян А. Г., Глуценко В. В. Системы управления: Исследование и компьютерное проектирование. Учебное пособие. М.: Вузовская книга, 2012. 328 с.

8. Макарова И. В., Хабибуллин Р. Г., Беляев А. И., Шубенкова К. А. Методы планирования эксперимента с использованием пакета Minitab. Набережные Челны 2016. 146 с.

9. Марков А. В., Шматко А. Д. Коммуникационное интегрирование систем. Учебное пособие для вузов. СПб: БГТУ «Военмех», 2005. 160 с.

УДК 338.46

УПРАВЛЕНИЕ РИСКАМИ ОРГАНИЗАЦИЙ СФЕРЫ УСЛУГ В УСЛОВИЯХ ВЫСОКОЙ КОНКУРЕНЦИИ НА РЫНКЕ РОЗНИЧНОЙ ТОРГОВЛИ

О. А. Игнатова

Балтийский государственный технический университет «Военмех» им. Д. Ф. Устинова

Актуальность. Теория и практика предпринимательской деятельности в современных условиях и на текущем этапе развития экономики страны, который, по мнению многих ученых, определяется сегодня трансформацией экономической системы, необходимостью быстро

реагировать на глобальные вызовы, интеграцией информационных технологий практически во все сферы экономической деятельности, связана с рисками. Неопределённость спроса, потребностей стейкхолдеров, валютных курсов, политической обстановки в мире требует от организаций осознать наличие рисков, оценивать их и воздействовать на риски и управлять ими с целью достижения целей организации.

В большей степени подвержены рискам организации розничной торговли в силу их высокой зависимости от спроса и платежеспособности потребителей. Большинство таких организаций сегодня в силу снижения спроса, высокой конкуренции и неэффективной стратегии сталкиваются с наличием неликвидных товаров, влияющих на цикл обращения оборотного капитала, что, в свою очередь, снижает эффективность работы организации и экономические показатели.

Необходимость минимизации неликвидных товаров вызвана некоторыми факторами: во-первых, непроданные товары – это «замороженные» материальные средства, которые организация могла бы ввести в оборот; во-вторых, обслуживание запасов готовой продукции требует лишних затрат; и, в-третьих, в период длительного хранения продукции возможен ущерб ее товарного вида и (или) потеря потребительских свойств. Все возникающие проблемы связаны с неопределённостью покупательской способностью, спросом, появлением новых игроков на рынке и появлением конкуренции и глобальными вызовами.

Таким образом, организации сферы услуг должны оценивать риски, прогнозировать их, и конечно же минимизировать, а также управлять рисками для повышения конкурентоспособности и устойчивого развития.

С позиции современного бизнеса риск представляет собой допустимо существующую вероятность потери ресурсов или неполучения прибыли.

Понятие «риск» возникает от латинского «*risicare*», что означает «решиться». В теории и практике есть множество определений термина «риск». Многие ученые отражают свойство неопределённости в характеристике риска, приведем некоторых авторов и их определения.

А. П. Альгин полагает, что риск представляет собой «деятельность, связанную с преодолением неопределённости в ситуации неизбежного выбора, в процессе которой имеется возможность количественно и качественно оценить вероятность достижения предполагаемого результата, неудачи и отклонения от цели». По мнению И. Т. Балабанова «чем больше неопределённость хозяйственной ситуации, тем больше и степень риска». В. Н. Вяткина и И. В. Вяткина считают, что «риск в бизнесе – это неопределённость в отношении возможных потерь или упущений».

Национальный стандарт ГОСТ Р 51897-2011 «Менеджмент риска. Термины и определения» определяет «риск» как следствие влияния неопределенности на достижение поставленных целей [1].

Для идентификации рисков организаций сферы розничной торговли наиболее применима классификация рисков, предложенная И.Т. Балабановым на рис. 1 [2, 3, 4]. И. Т. Балабанов разделяет риски на чистые риски, поражающиеся факторами, изменение или ограничение которых невозможно, и спекулятивные риски, связанные непосредственно с финансовыми потерями, например, падение прибыли, дохода [3]. Таким образом, та или иная классификация рисков дает организации в перспективе наладить во внутренней среде единое восприятие рисков, оценить величину их значимости и влияния на предпринимательскую деятельность, а также создать систему управления рисками [4, 5, 6].

Любой бизнес взаимосвязан с рисками и именно поэтому менеджерам организации нужно контролировать возможное появление рисков и применять максимум усилий к их нейтрализации. Менеджеры применяют методы управления рисками, а именно:

- избегание риска – это сознательный отказ от рискового события;
- контроль и предупреждение риска – меры по своевременному выявлению риска для его снижения или исключения;
- сохранение риска – наблюдение за риском без какого-либо воздействия на него по причине нахождения риска на приемлемом уровне;

- передача риска, в процессе которой происходит распределение потерь от риска с другой стороны экономических отношений ([2], с.142 – 143).

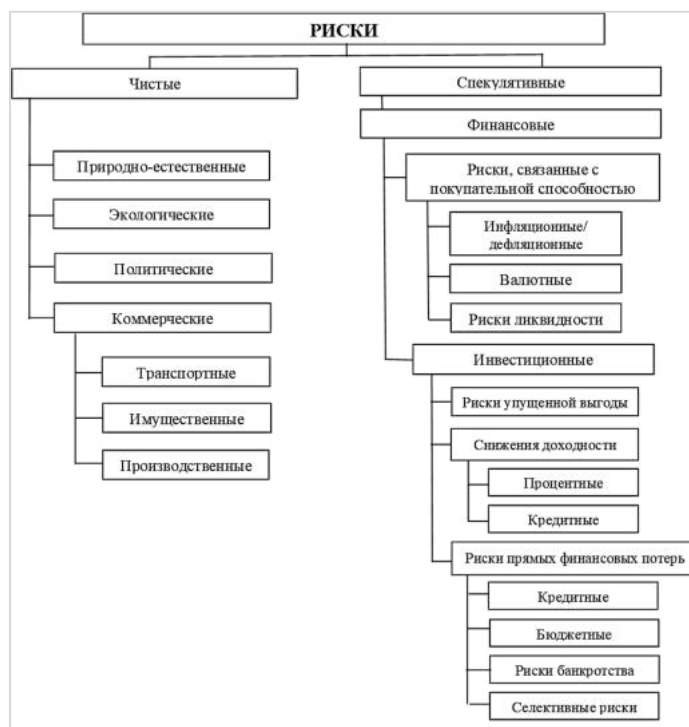


Рис. 1. Классификация рисков И. Т. Балабанова

Таким образом, при выборе определенного способа или метода управления рисками, необходимо оценить степень готовности и возможности осуществления этих методов. В противном случае неверно выбранные методы управления рисками могут лишь добавить негативных воздействий на хозяйственную деятельность организации.

Финансовый кризис 2008 года и пандемия COVID-19 показали, что для экономической устойчивости и эффективности функционирования компании с целью определения слабых мест в деятельности необходимо проведение анализа рисков, выработки новых стратегических решений, позволяющих свести к минимуму отрицательные воздействия вызовов внешней среды.

Апробация методики идентификации и оценки рисков в рамках настоящего исследования была проведена в организации, которая относится к сфере услуг малого бизнеса. Классификация И. Т. Балабанова позволяет разделить деятельность организации на сферы и в каждой из них определить риски [3]. Идентификацию рисков следует начать с определения факторов рисков, далее определяя причины рисков и далее, собственно, формализовать сами риски. основополагающим документом, регламентирующим эту деятельность, следует по мнению автора использовать ГОСТ Р 51897-2011. Пример такой идентификации приведен в таблице 1.

Для оценки идентифицированных рисков, учитывая специфику компании по мнению автора, следует выбирать количественную оценку рисков, а именно метод экспертных оценок. Этот метод позволяет учитывать значимость каждого эксперта, специфику деятельности организации и достигать точности оценки рисков. В качестве независимых экспертов организации должны выступать генеральный директор, финансовый директор, коммерческий директор и заместитель начальника отдела продаж.

Экспертами была произведена оценка вероятности наступления рисковог о события. Оценка производилась в процентном отношении от 0% до 100%, где: 0% – полное отсутствие вероятности наступления риска, 100% – гарантированная вероятность наступления риска.

Таблица 1
Идентифицированные риски

№ риска	Фактор риска	Причина риска	Наименование риска
1	внешний, экономический	падение спроса на конкретные группы товаров или конкретные товары со стороны покупателей	неликвидные товары
2	внешний, экономический	изменение покупательского спроса, в том числе появление на рынке конкурентов, новинок	риск не реализации товаров в установленный срок
3	внешний	повреждения или неполучения товара транспортной компанией по причине аварии, погодных условий	транспортные риски
4	внешний, отраслевой	несоблюдение сроков приемки, недостача товаров, поставка и приемка товаров ненадлежащего качества, нарушения при маркировке товаров, повреждение упаковки при транспортировке	риск при приемке товаров
5	внутренний	риск убыли, повреждения, хищения, потери качества и потребительской ценности товара, как следствие, снижения его стоимости	риск при хранении товаров
6	внешний	несоответствие качества поставляемых товаров заявленным	риск заключения договоров с недобросовестными поставщиками
7	внешний	закупка товаров	риск повышения закупочной цены товара
8	внутренний	непрофессионализм работников в отношении анализа потребительского спроса, непрофессионализм работников, осуществляющих закупку товаров	риск закупки товаров, не пользующихся спросом

Составлено автором на примере работы организации сферы розничной торговли

Таблица 2
Оценка рисков организаций в сфере услуг

№ риска	Мнения экспертов				Среднее значение	Ранг
	Эксперт 1	Эксперт 2	Эксперт 3	Эксперт 4		
1	65	75	70	80	72,5	1
2	50	60	60	50	55	7
3	55	50	60	60	56,25	6
4	60	55	45	50	52,5	8
5	65	60	70	60	63,75	4
6	55	65	55	70	61,25	5
7	80	70	70	65	71,25	2
8	70	80	60	65	68,75	3

Составлено автором на примере работы организации сферы розничной торговли

Таким образом, можно выделить риски, которые могут существенно повлиять на деятельность организации, и которые, предоставляют угрозу для организации.

Таблица 3
Значимые риски организаций в сфере услуг

Идентификационный номер риска	Среднее значение	Ранг	Наименование риска
1	72,5	1	неликвидные товары
5	63,75	4	риск при хранении товаров
7	71,25	2	риск повышения закупочной цены товара
8	68,75	3	риск закупки товаров, не пользующихся спросом

Согласно мнению экспертов, было выявлено, что риском первого ранга для предприятия выступает риск неликвидных товаров. Данный риск может возникнуть из-за резкого снижения спроса, нецелесообразных закупок товаров, неэффективного управления и хранения товаров на складе.

Неправильная система хранения товаров служит причиной увеличения остатков товаров, которые образуются на складе. В следствии этого сотрудники ведут неправильный учет товаров и осуществляют закупку товаров, не считаясь с реальным положением дел. Чтобы ликвидировать этот риск, нужно:

- детально изучить документы оприходования излишков товаров по результатам инвентаризации – следует выявить точную причину образования неликвидных товаров;
- проводить инвентаризации один раз в полгода и маркировать товары при поставке;

Риск второго ранга – это риск повышения закупочной цены товара. В ходе этого риска у организации происходит рост себестоимости из-за необходимости поиска, замены товаров и, следовательно, рост расходов. Чтобы устранить этот риск организации следует искать новых поставщиков и вносить валютный и ценовой риск в договор.

Риск третьего ранга – это риск закупки товаров, не пользующихся спросом. Для минимизации данного риска следует возлагать на кладовщиков обязанность, согласно которой они своевременно обязаны ставить в известность руководство об образовании излишков товаров на складе.

Риск четвертого ранга – это риск при хранении товаров. Необходимо внедрить меры по оптимизации складов, например:

- выделить зоны хранения;
- применить систему 5S для хранения товаров с целью недопущения повреждения упаковки или самого товара:
 - а) путем оборудования полок и стеллажей маркировками;
 - б) путем оборудования полок для больших по размеру товаров;
 - в) путем оборудования полок для размещения товаров в несколько ярусов;
- разделить в стеллажах зоны штучного и коробочного хранения. Это ускорит отбор и обеспечит сохранность товаров.

С помощью мер по оптимизации складов возможно повысить качество и скорость складских процессов, контролировать работу склада, сократить потери организации, а самое главное эффективно использовать складское пространство.

Научный руководитель – ст. преподаватель Н. Л. Соловьева.

Библиографический список

1. ГОСТ Р 51897-2011/Руководство ИСО 73:2009 Менеджмент риска. Термины и определения. [Электронный ресурс]. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200088035> (дата обращения: 1 февраля 2021 г.)

2. Соловьева Н. Л. Риск-менеджмент в инновационной деятельности предприятия: учебное пособие. СПб: БГТУ «Военмех», 2016. 169 с.

3. Шапкин А. С. Экономические и финансовые риски. Оценка, управление, портфель инвестиций: Монография, 2003.

4. Савчик Е. Н., Понамаренко А. А., Коперанова К. А. Управление рисками в системе менеджмента устойчивого развития организации сферы услуг // ЦИТИСЭ. 2020. № 3(25). С. 86 – 100/

5. Таранова И. В., Прядко И. А. Концептуальные основы управления финансовой устойчивостью организацией сферы услуг региона // Информационные проблемы и драйверы социально-экономического развития общества в условиях глобализации. Сборник научных статей Международной научно-практической конференции. Ставропольский государственный аграрный университет. 2020. С. 613 – 617.

6. Кучумов А. В., Печерица Е. В., Бойкова Ю. М. Финансовые риски и методы их нейтрализации как инструмент повышения экономической безопасности в сфере услуг // Вестник Национальной академии туризма. 2020. № 1 (53). С. 20 – 23.

УДК 316.47

ВЛИЯНИЕ ЦИФРОВОЙ ЭКОНОМИКИ НА АДАПТАЦИЮ МОЛОДЫХ СПЕЦИАЛИСТОВ В ОРГАНИЗАЦИИ

Н. С. Лесовых

Балтийский государственный технический университет «Военмех» им. Д. Ф. Устинова

На сегодняшний день проблема адаптации или онбординга вновь прибывших сотрудников, а в частности молодых специалистов, остро стоит в организации с учетом развития цифровых возможностей в стране и мире. У многих специалистов бытует такое мнение (в основном в таких организациях, где существует проблема большой текучести, или так можно назвать «сезонных» кадров), что большее значение управленческого воздействия должно быть направлено на ускорение процесса адаптации, что в конечном итоге позволит вновь прибывшему молодому специалисту наиболее быстро влиться в трудовой процесс коллектива, и повысит свою производительность в кратчайшие сроки.

В настоящее время, каждый молодой человек сталкивается с таким периодом в жизни, когда ему предстоит стать работником, а значит возникнет проблема стать частью трудового коллектива той или иной организации. Как следствие, можно отметить, что проблема адаптации в новой организации становится не менее актуальной и для самого индивида. Возникновение проблем на стадии вливания в новый трудовой коллектив могут исходить как от самого вновь прибывшего молодого специалиста, так и от политики самой организации по отношению к новым сотрудникам. С психологической точки зрения, любому человеку, а в особенности вновь прибывшим молодым специалистам, тяжело самостоятельно адаптироваться к новым условиям без надлежащей поддержки со стороны руководителя и сотрудников организации. Если в организации не имеется успешной программы процесса адаптации специалистов, то молодой сотрудник в большинстве случаев уволится, не адаптировавшись к новым условиям труда.

В зарубежной психологии в значительной степени отражено необихевиористское определение адаптации, которое употребляется, например, в работах Г. Айзенка и его сторонников. Адаптацию они определяют неоднозначно:

1) как состояние, в котором потребности индивида, с одной стороны, требования среды, с другой – полностью удовлетворены. Это состояние гармонии между индивидом и природой или социальной средой;

2) или процесс, посредством которого это гармоничное состояние достигается. [299]

Следует отметить, что большое количество известных и крупных компаний отдают немалое внимание данному процессу, как адаптация своего вновь прибывшего сотрудника. Значение процесса адаптации нельзя недооценивать. Он один равен процессу привлечения, отбора и оценки кандидатов еще на входе в организацию. [299] Персонал подразумевает под собой, фундаментальную основу любой компании, которая обеспечивает эффективное использование всех имеющихся ресурсов и, как итог, формирует конкурентоспособность организации на рынке.

В условиях цифровизации экономики, рынок труда подвергается колоссальным изменениям. Сегодня можно наблюдать тенденцию медленного исчезновения таких профессии, как бухгалтер, юрист, экономист, возрастает востребованность специалистов IT сферы, инженеров и т.д. Исследование Оксфордского университета говорит о том, что 50% всех сегодняшних рабочих мест и профессий исчезнет в течение следующих 25 лет, либо они будут максимально автоматизированы.

Само обозначение понятия «цифровая экономика» было внедрено Доном Тапскоттом в 1995 году, когда он описывал особенности сетевой разведки. На сегодняшний день под понятием цифровой или виртуальной экономикой принято считать систему отношений в области экономики, культуры и общественной жизни, которые базируются на введении электронных технологий. Так же в Указе Президента Российской Федерации от 09.05.2017г. № 203 отмечается понятие «цифровой экономики» следующим определением: «Цифровая экономика – это хозяйственная деятельность, в которой ключевым фактором являются данные в цифровом виде, обработка больших объемов и использование результатов анализа, которых по сравнению с традиционными формами хозяйствования позволяют существенно повысить эффективность различных видов производства, технологий, оборудования, хранения, продажи, доставки товаров и услуг».

В Российской Федерации существует национальный проект «Цифровая экономика Российской Федерации» от 2 марта 2019 г., завершение которого планируется на 2024 г. За успешную реализацию назначенных целей национального проекта несет ответственность Минкомсвязь в лице: куратора проекта М. А. Акимова, руководителя проекта К. Ю. Носков и администратора проекта Е. Ю. Кисляков.

Аналитики команды TalentTech совместно с Нетологией и биржей фриланса FL.ru проводили социальный опрос для выяснения таких позиций: чего остерегаются и с какими проблемами сталкиваются российские сотрудники компаний во время адаптации на новом рабочем месте.

Исследование, в котором приняло участие 1020 человек, проводилось с октября по декабрь 2020 года. Процентное соотношение респондентов в разных возрастных группах составило: лица от 30 до 45 лет – 47%, от 25 до 30 лет – 37%, менее 25 лет – 10% и самый маленький процент опрошенных составляли лица старше 45 лет – таковых было 5%.

Выявленные результаты показали, что 52% респондентам не были предоставлены определенные цели на испытательный срок, так же 18% опрошенных высказались о том, что им поставленные цели организацией не были ясны, а 20% – отметили, что они не понимали своей роли в данной организации.

По результатам исследования лишь у 30% опрошенных был составлен план онбординга, и только некоторые компании уделяют внимание предбордингу, что включает в себя процесс адаптации молодого специалиста к новым для него условиям трудовой деятельности еще на этапе до выхода вновь прибывшего сотрудника на работу.

По мнению К.Сухановой, руководителя модуля «TalentTech. Адаптация», формирование управляемого плана адаптации вновь прибывших специалистов стало особенно актуально в период пандемии коронавирусной инфекции COVID-19, так как у новых сотрудников стало меньше возможностей полноценно погрузиться в корпоративную культуру компании, например, во время кофе-брейка с коллегами в офисе. В связи с ограничением бюджета на найм во многих компаниях, потеря сотрудника в период испытательного срока сильнее бьет по финансовой стабильности бизнеса, так как повторное привлечение новых кандидатов и найм

подходящего специалиста может привести к потере денежных средств в организации до 20% от годовой зарплаты сотрудника.

Для вновь прибывшего молодого специалиста в организации важна поддержка его нового будущего руководства и общей рабочей команды в организации, в частности в отделе, где непосредственно будет работать новый сотрудник. Соответственно, чем более «гладко» пройдет встреча нового сотрудника с коллективом, тем быстрее пройдет процесс адаптации вновь прибывшего молодого специалиста, и он включится в рабочий процесс. Однако, в условиях цифровизации экономики произвести качественную адаптацию вновь прибывшего молодого специалиста вызывает определенные трудности. Выше уже было отмечено, что одним из условий осложняющих процесс адаптации является современные условия пандемии. Напротив, благодаря данным условиям был дан толчок в улучшении использования благ цифрового развития. Из этого следует, из-за того, что многие организации перешли на дистанционную форму работы, а сотрудники теряют свою сплоченность коллектива и новому сотруднику не предоставляется возможность познакомиться с конкретными сотрудниками компании лично, в следствии чего, молодого специалиста могут не принять в рабочем коллективе.

К положительному результату применения благ цифрового развития в процессе адаптации вновь прибывшего молодого специалиста можно отнести применение методики Welcome – тренинг. Целью тренинга является возможность порадовать нового сотрудника, показать, что он является частью рабочего коллектива, дает расширенное представление о компании: ее история, статус, главные конкуренты, компании-партнеры, достижения, традиции компании, главные лица, мероприятия неформального общения и так далее. Данную методику широко применяет зарубежная компания «Procter & Gamble», которая разработала широкий спектр тренингов для множества должностей.

Так же можно отметить еще одну адаптационную цифровую программу, с применением IT-технологий, методику с названием E—Learning. Первоначально, методика находила свое применение только в обучении персонала, но следует отметить, что E—Learning на современном этапе применяется в процессе адаптации вновь прибывших сотрудников. Главным достоинством методики является в возможности адаптации персонала и его обучения без отрыва от производственных задач в компаниях с высокой численностью рабочего персонала и его текучестью. Немаловажным плюсом методики E—Learning отмечается ее возможности в уменьшении временных и денежных затрат на непрерывный процесс адаптации вновь прибывших сотрудников. С помощью данной методики легче и быстрее обработать большое количество получаемой информации на первых этапах включения в работу сотрудника компании. Примером крупной компании, использующая метод E—Learning, является «McDonalds».

Отрицательные последствия развития цифровой экономики заключаются в «цифровизации» и «информатизации». Цифровизация представляет собой процесс, который лежит в основе цифровой политики. Цифровизация способствует возможностям использования современных новейших технологий для усовершенствования и более ускоренного выполнения тех или иных операций, и предоставляет возможным использование технологий для деятельности, которая в прошлом была ограничена или невозможна вовсе. [300] Информатизация подразумевает под собой организационный социально-экономический и научно-технический процесс создания оптимальных условий для удовлетворения информационных потребностей и реализации прав юридических и физических лиц на основе формирования и использования информационных ресурсов.

Современные сетевые технологии, как правило, обеспечивают коммуникации без необходимости прямого контакта людей. В ближайшее время можно прогнозировать серьезные перемены в отраслях экономики. Цифровые технологии не завязаны на какую-то одну отрасль, их применение может быть максимально широким и сквозным. Это хорошо и плохо, одновременно. «Цифровизация» повысит уровень экономики страны, обеспечит выход на лидерские позиции мирового рынка.

Вместе с тем, существует отрицательный эффект, влияющий на занятых в производстве продукции и услуг. Развитие различных технологий позволяют свести к минимуму количество людей в организации. Отмечается возникновение трудностей адаптации к сложной среде информационного общества у определенных категорий людей, например, людей пожилого возраста, с ограниченными денежными средствами, людей, которые не обладают достаточным образованием. Так же проблемы возникают у специалистов со средней квалификацией, которых стремительная роботизация вытеснит с рабочих мест. Как следствие, это приведет к росту массы безработного населения по вышеописанной причине. И. Л. Авдеева в своей работе «Анализ перспектив развития цифровой экономики в России и за рубежом» отмечает тот факт, что в ближайшие 20 лет машинные технологии вытеснят большое количество профессий на рынке труда, ведь рыночная экономика выставляет требование для предприятий и организаций, чтобы происходило постоянное повышение эффективности ради максимизации прибыли. Автоматизация во многих отраслях приведет к появлению 2 млн. новых рабочих мест, которые смогут занять разработчики уникального ПО, инженеры и аналитики, но тем самым сократит 7 млн. мест, занятых сейчас среднеквалифицированными специалистами. Их просто заменят роботы.

Исходя из вышенаписанного, можно сделать вывод о том, что адаптация – это неотъемлемый процесс вновь прибывшего сотрудника в организацию. Особенно важным этот процесс является для молодых специалистов, которые впервые пришли в новый сложившейся трудовой коллектив определенной организации. Процесс адаптации не должен быть упущен при наеме новых сотрудников в организации, а напротив должен совершенствоваться в каждой организации для удержания квалифицированного молодого вновь прибывшего специалиста. В этом помогают цифровые технологии, которые облегчают и делают процесс адаптации молодого специалиста более быстрым для того, чтобы сотрудник как можно меньше времени потратил на привыкание к новым условиям, стал частью команды сотрудников организации, приносил доход и повышал конкурентоспособность организации на рынке труда. Отрицательным моментом цифровой экономики является замена кадров на машинные и информационные технологии, тем самым влечет за собой увеличение массы безработных. Напротив, к положительному моменту следует отнести появление все больше возможностей совершенствовать образовательные программы под современные условия цифровизации экономики, что приведет к появлению компетентных специалистов к реалиям современного мира.

Библиографический список

1. *Авдеева И. Л.* Анализ перспектив развития цифровой экономики в России и за рубежом // Цифровая экономика и «Индустрия 4.0»: проблемы и перспективы. Труды научно-практической конференции с международным участием. Санкт-Петербург: Издательство Политехнического университета, 2017. С. 19 – 25.
2. *Айзенк Г. Ю.* Структура личности. М.: Юрайт, 2016. 463 с
3. *Капранова Л. Д.* Цифровая экономика в России: состояние и перспективы развития // Экономика. Налоги. Право. 2018. №2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/tsifrovaya-ekonomika-v-rossii-sostoyanie-i-perspektivy-razvitiya> (дата обращения: 17.02.2021).
4. *Миловзорова М. Н.* Управление человеческими ресурсами организации: учебное пособие. СПб: БГТУ «Военмех», 2009. 124с.
5. *Прихач А. Ю., Кучугурная А. С.* Повышение эффективности методов адаптационного регулирования в условиях цифровизации экономики // Современные технологии управления. №2(92). Номер статьи: 9208. Дата публикации: 2020-05-29. URL: <https://sovman.ru/article/9208/> (дата обращения: 09.02.2021).
6. Роботизация: профессии на грани исчезновения [Электронный ресурс]. URL: <https://www.jvlife.ru/articles/258-robotizatsiya-professii-na-grani-ischeznoveniya> (дата обращения: 09.02.2021).

7. Скляр М. А., Кудрявцева К. В. Цифровизация: основные направления, преимущества и риски // ЭВР. 2019. №3 (61). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/tsifrovizatsiya-osnovnyie-napravleniya-preimuschestva-i-riski> (дата обращения: 09.02.2021).

8. Чалиев А. А. Информатизация, ее основные задачи. Персональный сайт кандидата наук [Электронный ресурс] URL: <https://chaliev.ru/ise/lections-comp-tech-zo.php> (дата обращения: 09.02.2021).

УДК 330.342 : 001.895

ПОДХОДЫ К ФОРМИРОВАНИЮ МОДЕЛИ ОЦЕНКИ ИННОВАЦИОННОГО РАЗВИТИЯ ПРЕДПРИЯТИЯ

М. В. Мирославская

Балтийский государственный технический университет «Военмех» им. Д. Ф. Устинова

По данным Росстата в 2020 году сальдированный финансовый результат организаций в действующих ценах составил 12 421,1 млрд. рублей. Прибыль на общую сумму 17758,3 млрд. рублей получили 40,5 тыс. организаций, убыток в размере 5337,2 рублей – 16,9 тыс. организаций (рис.1).

Наибольшее число прибыльных организаций по итогам года сложилось в сфере сельского, лесного хозяйства, охоты (80,8%); торговли оптовой и розничной автотранспортными средствами и мотоциклами и их ремонта (80,4%). Доля прибыльных предприятий среди обрабатывающих производств – 75,0% [1]. В этих условиях актуальным представляется интенсификация инновационного развития предприятий. Однако как указано в [2] задача оценки эффективности инновационного развития остается предметом научной дискуссии. Эффективное управление инновационным развитием предприятия, направленное на активизацию, в том числе и региональной инновационной деятельности [2], предполагает комплексную оценку инновационной активности предприятия [3], включающую всестороннюю оценку экономической, социальной и правовой активности, что позволяет провести мониторинг тенденций инновационного развития. Комплексная оценка инновационной активности, не ограниченная каким-либо одним направлением или структурным элементом инновационного развития, должна опираться на многостороннюю оценку всех составляющих [4].

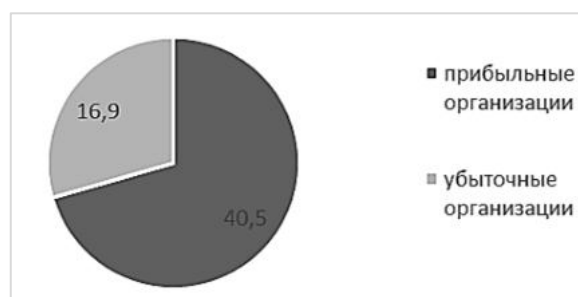


Рис. 1. Диаграмма соотношения прибыльных и убыточных организаций в 2020 году; составлено автором по данным [1]

Многосторонняя оценка всех составляющих по существу осуществляется как количественными так и качественными показателями. Необходимость использования качественных показателей при оценке инновационного развития предприятия объясняется существенными

300

особенностями составляющих его элементов, не возможных к оценке количественно. Например, не возможно оценить количественно технологическую осуществимость инновационного проекта или потенциальную востребованность рынком последнего. Данное ограничение обуславливает необходимость использования как количественных, так и качественных оценок в системе, что вызывает значительные трудности на практике

В качестве методологического подхода в [5] для формирования модели оценки инновационного развития предлагается использовать комплексный социально-экономический анализ.

С целью проработки множества управленческих решений по обеспечению инновационных процессов на предприятии с учетом системы поставленных целей и существующих ограничений необходимо иметь не только информацию относительно условий реализации инновационных преобразований (время, ресурсы, ограничения, цели), но и определенную систему оценки результатов действия этих процессов.

Полученная система позволит из множества решений выбрать оптимальное путем сравнения обобщающего показателя (критерия оптимальности) при различных альтернативных вариантах реализации инновационного развития предприятия. Направление дальнейших исследований автор видит в разработке и определении критерия оптимальности при оценке инновационного развития предприятия.

Данные исследования будут проведены в магистерских диссертациях магистранта направления 38.04.02. «Менеджмент» Чудина К.А. «Совершенствование инструментов стратегического управления на примере ООО «Экспо-Кар», отдельные аспекты проблемы формирования модели оценки инновационного развития будут освещены в выпускной квалификационной работе магистрантки направления 38.04.03. «Управления персоналом» Лозинской Е. А. на тему «Развитие документационного обеспечения Отдела кадров Филиал ПАО «Газпром» «Главное управление охраны ПАО «Газпром» в г. Санкт-Петербурге». Разработанная система оценки результатов управленческих решений составит информационную и теоретическую базу исследования для магистерской диссертации магистрантки направления 38.04.03. «Управления персоналом» Швецовой Е. К. на тему «Разработка этапов процесса адаптации персонала организации на примере АННОДО «Оксворд»».

Библиографический список

1. Официальный сайт Росстата РФ <https://rosstat.gov.ru/folder/70843/document/117271>. (дата обращения - 20.03.2021г).
2. Алиев И. Г. К вопросу об определении экономической сущности инноваций и инновационного процесса на уровне регионов // Мир современной науки. 2016. №5. С.19 – 26.
3. Бабосов Е. М. Формирование и функционирование региональной инновационной системы // Экономические и социальные перемены: факты, тенденции, прогноз. 2016. №5. С. 60 – 69.
4. Бабкин А. В., Сорокина Ю. А. Оценка инновационного потенциала научно-производственного предприятия // Цифровая экономика и «Индустрия 4.0»: проблемы и перспективы труды научно-практической конференции с международным участием. 2017. С. 410 – 414.
5. Сомина И. В. Методология и методические аспекты оценки экономической эффективности в сфере инновационной деятельности // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В. Г. Шухова. 2013. № 4. С. 142 – 145.

**ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ДЛЯ РОССИИ СОВМЕСТНОГО
С КИТАЕМ ПРОЕКТА ЛУННОЙ СТАНЦИИ****М. А. Носова***Балтийский государственный технический университет «Военмех» им. Д. Ф. Устинова*

9 марта 2021 года руководителем Китайской национальной космической администрации (КНКА) господином Чжан Кэцзянем и генеральным директором Госкорпорации «Роскосмос» Дмитрием Рогозиным в формате видеоконференции был подписан от имени правительств Китая и России Меморандум о взаимопонимании между Правительством Китайской Народной Республики и Правительством Российской Федерации о сотрудничестве в области создания Международной научной лунной станции (МНЛС) [1].

Согласно меморандуму, стороны будут руководствоваться «принципами паритетного распределения прав и обязанностей» [2] и использовать «космическое пространство в мирных целях в интересах всего человечества» [2].

В меморандуме также уточняется предназначение запланированной лунной станции – проведение многопрофильных и многоцелевых научно-исследовательских работ. Помимо этого, рассматривается дальнейшая перспектива присутствия непосредственно человека на Луне. Соглашение подразумевает совместное планирование, разработку и реализацию проекта, и его дальнейшую презентацию мировому сообществу [3].

В заключении договора о сотрудничестве уточняется, что Россия и Китай традиционно стремятся к развитию сотрудничества в области космических технологий.

Станцию должны развернуть в 2030 году в районе лунного Южного полюса. Основная цель – постоянное и многолетнее присутствие человека на Луне. Что значит выход космонавтов и экспедиции по поверхности спутника, проведение медицинских, физических и биологических экспериментов.

Это будет, к примеру, выращивание разных растений на борту станции. Для перевозки саженцев или семян этих растений можно предложить использовать кубсаты (Cube Satellite (Cube Sat) – кубический спутник). Стандартные размеры кубсата 1U составляют 10×10×10 см и вес не более 1,33 кг. Благодаря небольшому размеру, существенно экономятся средства на запуск. А модульная форма позволяет увеличить количество перевозимого груза в 1,5, 2 или 3 раза (1,5U, 2U, 3U соответственно). Естественно, с такими размерами и технологией на дальние полеты рассчитывать не стоит, но вывод этих пикоспутников на околоземную орбиту не доставляет сложностей и больших затрат. То есть фактически МНЛС – это аналог МКС.

Международная космическая станция (МКС, англ. International Space Station, ISS) – это пилотируемая орбитальная станция, используемая как многоцелевой космический исследовательский комплекс. Она имеет модульную структуру, где сборка происходит путем последовательного присоединения к комплексу очередного модуля или блока, доставленного на орбиту [7].

В рамках проекта МКС обеспечивает проведение прикладных и фундаментальных исследований на околоземной орбите.

Получение новейших научных знаний о материи и о структуре Вселенной, о климате и природных ресурсах нашей планеты, о формах эволюции жизни, о глобальных факторах, что влияют на околоземное пространство и Землю, о человеческом организме, адаптационных возможностях и его сопротивляемости неблагоприятным факторам внешней среды – вот, что является основной задачей космической станции.

Помимо обеспечения проведения исследований, инженерное сообщество активно пользуется МКС для реализации прикладных научных исследований. Их целями являются разработка новых космических технологий, использования их в социальной сфере на планете. Также, там проводится отработка нового типа бортовой целевой аппаратуры и методов улучшения

эффективности ее применения. Совершенствование средств и методов обеспечения продолжительных пилотируемых полетов.

По примерным подсчетам экспертов, стоимость создания и поддержания станции в работоспособном состоянии, уже приближается или даже превысила 150 млрд долл.

Конечно, как и МКС, планируемая лунная станция будет дорогостоящим проектом. На строительство и дальнейшую эксплуатацию уйдут немалые суммы стран-участниц. Но, несмотря на размер затрат, проект подразумевает получение внушительной выгоды.

Для того, чтобы разобраться, сильно ли ударит по бюджету страны данный проект, нужно понять, чем, собственно, богата Луна и что может послужить достаточными аргументами для её освоения.

Во-первых, Луна является огромным источником гелия-3.

Данный изотоп гелия на Земле присутствует в очень малых количествах, из чего вытекает его огромная стоимость – порядка миллиона долларов за килограмм. Исходя из этого, освоение Луны имеет все шансы стать невероятно удачным коммерческим проектом, ведь всего один полет туда-обратно может принести прибыль в десятикратном размере.

Основным направлением использования гелия-3 является термоядерная энергетика. Исходя из этого факта, в наше время проект потенциальной добычи изотопа гелия сталкивается с серьёзной проблемой – термоядерной энергетикой в коммерческой эксплуатации пока просто не существует. Уже на протяжении нескольких десятилетий идут научно-технические работы по удержанию плазмы при сверхвысоких температурах, необходимых для термоядерного синтеза. Однако, на данный момент единственным средством для достижения цели является создание экспериментального токамака ITER, торжественная церемония в честь начала сборки которого состоялась 28 июля 2020 г. Предположительно запуск реактора и получение первой плазмы запланированы на 2025г. В данном реакторе реакция будет проводиться с участием дейтерия и трития.

Если говорить о гелие-3, то термоядерные реакторы с его использованием относятся к реакторам второго поколения, работа над которым начнется только после запуска первого в коммерческую эксплуатацию. Сейчас основной проблемой является повышение температуры плазмы на порядок, то есть достижения миллиарда градусов. Получается, что в лучшем случае, лет через 40 мы сможем увидеть реакторы, работающие на данном газе. С нынешними технологиями гелий-3 может использоваться в науке, медицине (магнитно-резонансной томографии), в счетчиках нейтронов.

Из ранее изложенного получается, что потребности в данном продукте, к сожалению, не велики, и всего один полет на Луну уже может покрыть потребности в гелии-3 на крайне долгий срок. В настоящее время гелий-3 производится в ядерных реакторах, что обходится порядком дешевле импорта с Луны. Однако, есть вероятность, что создание Международной научной лунной станции поможет изменить ситуацию.

Во-вторых, закрепление своей позиции на Луне позволит наиболее дешевое создание кораблей для полетов на другие планеты Солнечной системы.

Например, создание стартовой площадки на Луне. На сегодняшний день лишь США объявили о планах пилотируемого полета на Марс, причем отложили их к 2030 году. Смысл подобной затеи непонятен, никакой коммерческой выгоды данное мероприятие не несет, а говорить о планах колонизации Марса пока не представляется возможным: жизнь на этой планете будет гораздо тяжелее, чем в Антарктиде, а стоимость доставки грузов и пассажиров туда и обратно может превышать десятки миллиардов долларов. В этом случае создание базы на поверхности Луны не имеет смысла. Однако создание и использование более дешевых способов запуска позволит тщательнее изучить космическое пространство и позволит данной задачке стать более реальной.

Рассмотрев различные варианты, к более экономичным способам запуска решено отнести:

1. воздушный старт, который позволит уменьшить гравитационные потери и осуществлять запуск из любой точки земного шара;

2. создание многоразовых ракет позволит сэкономить на изготовлении ракеты-носителя для последующих запусков;
3. морской старт позволит осуществлять запуск с экватора, используя вращение Земли;
4. орбитальная станция-заправщик или спутник-инспектор позволят догружать ракету топливом уже в космосе.

В-третьих, Луна – это огромная научная лаборатория.

В качестве научной лаборатории освоение Луны имеет наилучшие перспективы. На поверхности спутника учёным будет доступно огромное количество сфер деятельности: геология (селенология), космобиология, астрономия и многие другие.

В-четвертых, Луна – объект космического туризма.

В перспективе туризм также мог бы стать одной из существенных статей дохода станции. Конечно, не сразу, ведь стоимость ее посещения будет стоить десятки миллионов долларов.

Помимо всего этого, существование ряда элементов, практически не встречающихся на Земле, но в достаточном количестве присутствующих на Луне (прежде всего редкоземельных в материковых базальтах), позволяет увидеть перспективы создания МНЛС. Например, таким элементам относятся скандий, самарий, иттрий, лантан. Хотя их стоимость, конечно, несравнима со сказочной стоимостью гелия-3, но она крайне высока из-за редкости.

Ниже представлена таблица с ориентировочной стоимостью некоторых таких металлов на рынке [8].

Таблица 1
Ориентировочная стоимость металлов

Металл	Цена, USD/kg
Иридий (Ir)	12000
Палладий (Pd)	6500
Осмий (Os)	12000
Платина (Pt)	30000
Родий (Rh)	30000
Рутений (Ru)	12000
Скандий (Sc)	12000 – 75000
Иттрий (Y)	2400
Самарий (Sm)	5000
Лантан (La)	5000

Практически все перечисленные в таблице металлы используются на Земле в ряде отраслей промышленности: электронной, ядерной, химической – поэтому объём их рынка сложно недооценить. Цены в таблице являются приблизительными, так как цена зависит, в том числе и от чистоты материала. И лунное производство данных металлов становится несомненным преимуществом, так как добиться очень высокой чистоты, которой нельзя достичь в земных условиях, позволяет высокий вакуум.

Например, количество иридия на земном шаре очень мало: около 0,0000001 % в горных породах (как спутник платины), в древних горных образованиях (ниже определённой линии гор), а иногда и глубоко под землёй, можно также встретить куски весом до 300 г. Существует мнение, что большая их часть попала на Землю из космоса в составе метеоритов.

Применение данного металла в промышленности довольно обширно, несмотря на его редкость. Ядерный изотоп иридия ^{192m}Ir (период полураспада 241 год) вызывает особый интерес в качестве источника энергии. Также, небольшой шарик из иридия можно встретить на кончиках перьев, особенно хорошо его видно на золотых перьях, где он отличается по цвету от самого пера.

Сплавы иридия с гафнием (Hf) используются как материалы для топливных баков в космических аппаратах, с вольфрамом (W) и торием (Th) – материалы термоэлектрических генераторов.

ров, с родием (Rh), рением (Re) и вольфрамом (W) – материалы для термопар, эксплуатируемых выше 2000 °С, с лантаном (La) и церием (Ce) – материалы термоэмиссионных катодов.

Перейдём же к оцениванию величины затрат. Пока самыми дорогостоящими этапами являются доставка груза на Луну и обратно. Обращаясь к опыту лунных программ СССР и США, можно приблизительно оценить это число в 20 тыс. долларов за 1 килограмм при существовавших тогда технологиях. Если, благодаря новой лунной станции, удастся стоимость доставки грузов с Луны снизить хотя бы до 5000 – 7000 долларов за килограмм, то добыча некоторых перечисленных в таблице элементов будет смысл и потенциал. С удешевлением доставки сырья с Луны экспорт на Землю многих других элементов, например, титана, тоже будет экономически оправдан.

В целом несомненно, что освоение Луны – необходимый шаг человечества в своем развитии. Все цели освоения Луны, декларируемые на сегодняшний день, конечно же, нужно реализовывать. Для коммерческого же успеха лунной программы на стартовом этапе необходимо сосредоточить внимание на таких наиболее востребованных направлениях, как добыча дефицитных на Земле полезных ископаемых.

Научный руководитель – старший преподаватель Е. В. Вольф.

Библиографический список

1. Государственная корпорация по космической деятельности «Роскосмос» [Электронный ресурс]. URL: <https://www.roscosmos.ru> (дата обращения: 17.03.2021).
2. Сайт Lenta.ru [Электронный ресурс]. URL: <https://lenta.ru/> (дата обращения: 17.03.2021).
3. Сайт Коммерсантъ [Электронный ресурс]. URL: <https://www.kommersant.ru/> (дата обращения: 17.03.2021).
4. Сайт ИА REGNUM [Электронный ресурс]. URL: <https://regnum.ru/> (дата обращения: 17.03.2021)/
5. Сайт Пятый канал [Электронный ресурс]. URL: <https://www.5-tv.ru/> (дата обращения: 17.03.2021)/
6. Сайт Известия [Электронный ресурс]. URL: <https://iz.ru/> (дата обращения: 17.03.2021)/
7. Сайт РИА Новости [Электронный ресурс]. URL: <https://ria.ru/> (дата обращения: 17.03.2021).
8. Сайт Livejournal [Электронный ресурс]. URL: <https://www.livejournal.com/> (дата обращения: 17.03.2021).

УДК 33.027

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ВОВЛЕЧЕННОСТИ СОТРУДНИКОВ КАК СПОСОБ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЯ (НА ПРИМЕРЕ ГК «ВОСТОК-СЕРВИС»)

П. А. Оленичев, П. М. Лукичев

Балтийский государственный технический университет «Военмех» им. Д. Ф. Устинова

Проблема целесообразного и рационального вовлечения персонала на сегодняшний день становится всё актуальней, особенно для России, богатой крупными, развивающимися компаниями, но не эффективными методами стимулирования персонала. Сегодня в период пандемии COVID-19, когда у большинства российских предприятий возникли сложности с привле-

чением труда мигрантов, обостряется внимание к поиску внутренних резервов повышения производительности труда [1].

Работа с вовлеченностью персонала обусловлена существенным количеством положительных последствий при её применении. Примерами таких последствий являются: увеличение энтузиазма в работе, повышение производительности труда, уменьшение текучести кадров, повышение активности и готовности сотрудников к перевыполнению своих обязанностей. Как следствие, всё это приводит к стабильному развитию компании и росту бизнеса.

Сегодня, в условиях современного мира, можно говорить о том, что вовлеченность является одним из важнейших компонентов процесса мотивации сотрудников, поскольку полное вовлечение в работу человеческих ресурсов дает возможность продуктивно использовать их способности для достижения максимальной эффективности в работе организации.

Изучив различные трактовки термина «вовлеченность» в российской и зарубежной литературе можно выявить общее понятие данного термина, а также провести зависимость между вовлеченностью сотрудников в работу организации и её показателями в бизнесе.

Вовлеченность определяется как личная заинтересованность сотрудника внести некий вклад в развитие всей организации. При этом вовлеченности от сотрудников организация может добиться, если она сама вызывает у сотрудника те чувства, при которых человек готов полностью отдаваться работе.

Не случайно Колин Мейер, декан Оксфордской бизнес-школы, отмечал, что целью современного предприятия должно быть выполнение обязательств перед его клиентами и сотрудниками. Прибыльность – не цель, а ограничивающее условие, которое должно выполняться для того, чтобы указанные цели могли достигаться на устойчивой и долгосрочной основе [2].

Здесь важно отметить, что именно вовлеченность сотрудников в работу компании имеет прямую связь с бизнес-показателями компании: чем больше уровень вовлеченности сотрудников в работу, тем выше производительность и устойчивее положение компании на рынке [3].

Рассмотрим все вышесказанное на примере ГК «Восток-Сервис» - лидера в области производства Средств Индивидуальной Защиты. В целом можно говорить о том, что компания «Восток-Сервис» работает в области Охраны труда и помогает другим организациям (в основном промышленным предприятиям) правильно защищать людей от профессиональных заболеваний, и различных производственных травм на рабочих местах.

Главный и самый ценный ресурс любой организации – люди. Численность работающих в компании около 9 тыс. человек и компания уделяет большое внимание развитию вовлеченности и мотивации сотрудников в целом [4].

Ключевым направлением мотивационной политики компании является создание комфортных условий труда – компания на постоянной основе совершенствует отношения со своими партнерами, которые предоставляют организации различные корпоративные программы.

Сотрудничество с автоцентром Volkswagen – выдача и обслуживание корпоративных автомобилей, сотрудничество с различными сетями фитнес залов – сотрудники могут заниматься спортом и вести активный образ жизни, содержание офиса и рабочих мест в чистоте и со всеми удобствами, корпоративные выезды в другие города России и Европу к партнерам компании, лояльное отношение к новым сотрудникам (процесс адаптации сотрудника занимает в среднем один год) [5].

Все вышесказанное в целом формирует некий начальный уровень вовлеченности и мотивации сотрудников для успешной работы в компании. Новым сотрудникам показывают на примере других, каких условий для работы можно достичь, работая в организации, что естественно, не может не радовать, когда в начале своего пути сотрудник видит, к чему он может прийти, работая здесь.

Что касается профессионального роста, то здесь каждый сотрудник, закрепившийся в компании и показывающий результаты, имеет все шансы стать руководителем низшего уровня, а затем и перейти и в высшее руководство (нынешние руководители начинали работу с позиции менеджера).

Различные мотивационные программы и призы к ним за выполнение личных целей так же вовлекают всех сотрудников без исключения. За выполнение личных целей сотрудника всегда материально вознаграждают.

В целом компания четко следует своей философии в направлении мотивации и вовлеченности сотрудников. И поэтому большая часть работников воодушевлена и вовлечена в работу организации.

Так же стоит сказать и о том, что наиболее значимым инструментом для достижения высокого уровня вовлеченности персонала является его активное привлечение к решению конкретных рабочих целей и задач в рамках понимания общих целей, стоящих на каком-либо определенном этапе перед компанией. Данный аспект очень важен для эффективной работы персонала организации.

Грамотно выстроенная система вовлечения персонала во все сферы деятельности функционирования организации создает благоприятные условия для того, чтобы минимизировать текучесть кадров, стимулировать сотрудников ставить перед собой долгосрочные цели и стремиться реализовать их, а также формирует сильный HR-бренд на рынке труда [2].

Разобранные в данной статье мероприятия формируют мотивационную политику компании, которая в свою очередь является неотъемлемой частью политики ГК «Восток-Сервис». Трудно переоценить важность такой политики для рассматриваемой компании, принимая во внимание сферу её деятельности – Охрана труда, которая неразрывно связана со здоровьем трудоспособной части населения нашей страны. Поэтому необходимо всеми силами создавать благоприятные условия для всех без исключения сотрудников компании, тем самым совершенствуя уровень мотивации и вовлеченности сотрудников в работу компании, и этим повышая позиции компании на рынке, формируя высококомпетентных профессионалов в области Охраны труда.

Библиографический список

1. *Лукичёв П. М.* Рынок труда будущего. СПб: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС. 2021. 70 с.
2. *Коллиер П.* Будущее капитализма. Перевод с английского Олега Филиппова. М.: Изд-во Института Гайдара, 2021. 302 с.
3. *Митчелл А.* Создание бренда изнутри путем вовлечения сотрудников // Identity. 2015. №5. С. 10 – 12.
4. Экономическая наука – основополагающая дисциплина всеобщего развития: сборник материалов IV Международной научно-практической конференции (22 сентября 2017 года), – Кемерово: ЗапСибНЦ, 2017. С. 61 – 64.
5. Официальный сайт ГК «Восток-Сервис» [Электронный ресурс]. URL: <https://vostok.ru/>. Дата обращения: 17.03.2021.

УДК 330.322

АНТИКРИЗИСНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ОРГАНИЗАЦИЕЙ В УСЛОВИЯХ ЦИФРОВИЗАЦИИ ЭКОНОМИКИ

К. Ю. Попова

Балтийский государственный технический университет «Военмех» им. Д. Ф. Устинова

Актуальность. Тема антикризисного управления является очень актуальной в наше время. Актуальность темы антикризисного управления объясняется тем, что оно помогает снизить влияние или даже полностью устранить негативные последствия кризисных ситуаций.

Антикризисное управление затрагивает все направления деятельности фирм и предприятий. Для того, чтобы поднять экономику предприятия, отрасли, фирмы, применяются различные методы и процедуры.

Использование различных методов, методик, инструментов антикризисного управления, направленных на восстановление работы предприятий различных форм и различных видов экономической деятельности, позволяет экономике региона, а в итоге и государству, выходить из кризисного состояния. Антикризисное управление воздействует на все виды деятельности компании, в том числе и наукоемкие, позволяя внедрять инновации, что, как доказано, является основой для развития предприятий [1].

Уже доказано, что антикризисное управление позволяет организациям в кратчайшие сроки реагировать на вызовы внешней среды, что несомненно можно считать одной из отличительных черт антикризисного управления [2, 3, 4]. А, следовательно, разработанная антикризисная стратегия, используемые методики антикризисного управления конкретными процессами в деятельности предприятия позволяют принимать эффективные управленческие решения в конкретной ситуации, например, таких как COVID-19 [6, 7].

Внешние факторы, независимые от деятельности предприятия, и внутренние, напротив зависящие от производственной деятельности предприятия, могут быть причинами кризиса. Их структура представлена на рис. 1 и 2.

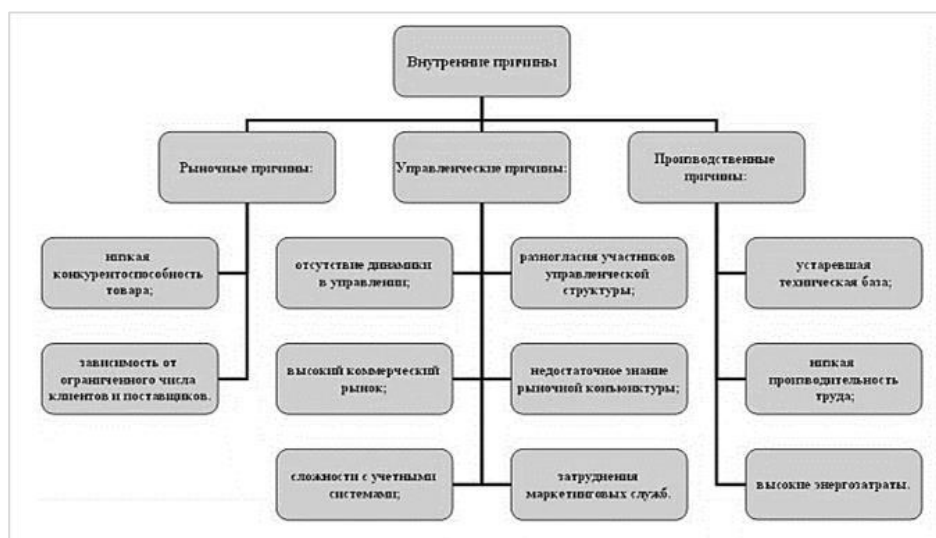


Рис. 1. Факторы внутренней среды предприятия

Внутренние факторы возникновения кризиса являются следствием принятия управленческих решений в сфере финансов, персонала, себестоимости продукции и издержек производства, управления непосредственно производством, управления закупками и сбытом продукции, управления качеством продукции [2].

К производственным факторам следует отнести высокую изношенность основных производственных фондов, низкую производительность труда, высокие затраты на производство.

К управленческим факторам относят неэффективное стратегическое управление предприятием, недостаточные знания конъюнктуры рынка, неэффективное управление издержками производства, недостаточное управление качеством продукции (услуг) и в целом предприятием.

Внешние причины возникновения кризиса являются следствием наиболее сложного вида взаимодействия: взаимодействия предприятия с различными субъектами. Поэтому следует выделить следующие группы факторов:

1. рыночные;
2. социально-экономические;
3. прочие (рис. 2).

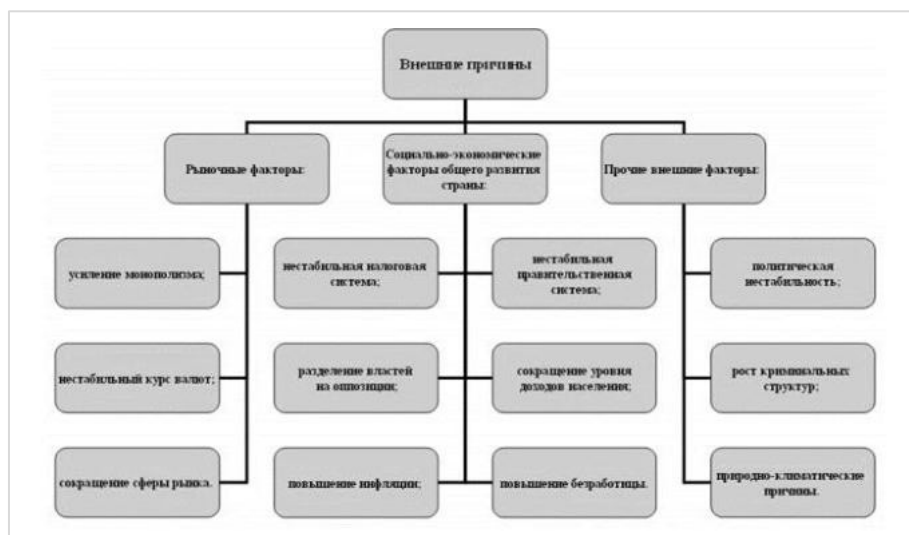


Рис. 2. Факторы внешней среды предприятия

В связи со всем вышесказанным, в условиях высокой неопределенности на рынке, неопределенности во внешней среде предприятия, глобальными вызовами, а также наличием проблем во внутренней среде предприятия можно сделать вывод о необходимости антикризисного управления, а значит руководство любого предприятия должно понимать следующее:

- кризис можно предсказать;
- к кризису нужно готовиться;
- необходимо предпринимать меры для смягчения кризиса;
- необходимо иметь специальные умения и навыки для управления кризисной ситуации;
- можно управлять кризисным процессом;
- можно разработать систему мер по выходу из кризиса и минимизации потерь.

Поэтому одной из главных целей антикризисного управления является недопущение кризисного состояния предприятия. Для этого разрабатываются и реализуются меры, которые останавливают негативные явления, повышают прибыль, создают устойчивое финансовое положение на рынке и не позволяют довести предприятия до банкротства.

Задачи антикризисного управления [3]:

- предвидеть кризис и разработать меры по подготовки к нему;
- создать программу по предотвращению основных факторов кризиса;
- понять, как развивается кризис и предпринять шаги для замедления и смягчения его;
- обеспечить работу предприятия в обычном режиме в период кризиса;
- создать условия для ослабления отрицательных последствий кризиса.

Практически на всех предприятиях возникают кризисы в производстве. Антикризисное управление направлено на борьбу с этим и руководствуется некоторыми принципами:

1. заранее спрогнозировать кризис;
2. разработать стратегию и реализовать ее на преодоление кризиса.
3. для выхода предприятия из кризисного состояния, необходимо использовать исключительно все внутренние ресурсы организации и ее финансовые возможности.

Следует отметить, что необходимость антикризисного управления характерна не только для частных, но и государственных унитарных предприятий. Государственные унитарные предприятия традиционно играют большую роль в экономике России. Меры антикризисного управления помогают улучшить их финансовое управление, а также организационную структуру управления [4].

Экономика России подвержена кризисам, поскольку в государстве отсутствует опыт управления кризисными ситуациями в условиях рыночной экономики. К тому же, усилилось влияние международных санкций на экономику, что также требует выработки определенной антикризисной стратегии [4].

Современные предприятия России не подготовлены к функционированию в условиях рынка. Антикризисные стратегии помогают государственным предприятиям своевременно выявлять ошибки в финансовом учете предприятия и устранять их с целью недопущения банкротства [5].

Выводы и обсуждения. Предприятие, деятельность которого связана с экономикой, всегда несет риски. Для снижения безопасности в условиях рыночной экономики практически всегда используют антикризисное управление, которое решает задачи в различных сферах и используется системно. Необходимо также использовать различные цифровые технологии и незамедлительно реагировать на различные глобальные вызовы.

Проведенный анализ показал наличие разных подходов к антикризисному управлению предприятиями России в современных условиях, крайне низкую подготовленность многих предприятий к функционированию и устойчивому развитию в условиях рынка и глобальных вызовов (COVID-19).

На базе государственного унитарного предприятия Санкт-Петербургский информационно-аналитический центр (СПб ГУП «СПб ИАЦ») было проведено исследование. Кризисная ситуация выражается в низком уровне выручки от заключения договоров (контрактов) с другими регионами Российской Федерации и юридическими лицами из-за географического положения (в рамках города). В связи с этим у компании отсутствует ежегодный прирост прибыли от заключения договоров (контрактов) на электронных площадках и участия в тендерах [6, 8].

Для решения кризисной ситуации в рамках проведенного исследования была разработана и предложена стратегия антикризисного управления предприятием в условиях цифровизации. Вот основные положения разработанной стратегии:

1. увеличение контрактов методом развития региональной, партнерской и экспертной сети (взаимодействие с Москвой, Архангельской, Волгоградской, Тамбовской, Челябинской, Нижегородской, Тверской, Псковской областями, Чеченской республикой и т.д.);

2. увеличения ежегодного прироста прибыли. Для этого необходимо взаимодействовать с Министерством цифрового развития, связи и массовых коммуникаций РФ для получения от них новых заказов;

3. расширение сферы деятельности предприятия. Для этого помимо исполнения существующих контрактов с использованием стандартных систем, предлагается создать собственные разработки, которые можно предложить покупателям и коллегам для получения денежных средств.

Таким образом, предложенная антикризисная стратегия позволит предприятию преодолеть кризисную ситуацию, увеличить прибыль и развиваться в современном мире в условиях цифровизации.

Научный руководитель – старший преподаватель Н. Л.Соловьева.

Библиографический список

1. *Лифшиц А. С., Куликов В. И., Новиков В. А.* Промышленная политика и антикризисное управление предприятиями: Монография. М.: Риор, 2016. 320 с.

2. Государственное антикризисное управление: учебник для бакалавриата и магистратуры / под общ. ред. Е. В. Охотского. М.: Издательство Юрайт, 2017. 371 с. Серия: Бакалавр и магистр. Академический курс.

3. Борисова С. Г., Толмачева В. С. Антикризисное управление организацией // Вестник МГУП имени Ивана Федорова. 2016. №3. С. 13 – 17.

4. Фейлинг Т. Б. Антикризисное управление. Курс лекций: учебное пособие для студентов, обучающихся по направлению подготовки 38.03.02 «Менеджмент». СПб: РГТМУ, 2016. С. 69 – 72.

5. Круглова Н. Ю. Антикризисное управление. М.: КноРус, 2018. 256 с.

6. Трофимова Н. Н. Стратегические аспекты антикризисного управления предприятием в период пандемии COVID-19 // Вестник университета. 2020. №11. С. 59 – 66.

7. Кудряшов С., Жогина М. Кризис-менеджмент в условиях пандемии COVID-19 // АО «Делойт и Туш СНГ». [Электронный ресурс]. URL: file:///C:/Users/A952/Downloads/crisis-management-covid-19.pdf (дата обращения: 22 февраля 2021 г.)

8. Ларионов И. К. Антикризисное управление: Учебник для магистров. М.: Дашков и К, 2015. 380 с.

УДК 316.4

ОБУЧЕНИЕ МАЛЫХ ГРУПП В СТРАТЕГИИ ЛИДЕРСТВА

А. О. Радаев

Балтийский государственный технический университет «Военмех» им. Д. Ф. Устинова

Руководитель любой организации неизбежно сталкивается с тем, что если не инвестируются деньги в повышение уровня знаний и в развитие профессиональных навыков работников, то отдача человеческих ресурсов организации уменьшается с каждым годом ([1], с.47).

Поэтому выдержав период, позволяющий планировать бюджет на инвестиции во внутренний человеческий капитал, компании начинают обучать своих сотрудников, повышая тем самым их компетенции. Это помогает выработать систему ценностей и определить общую миссию компании, которая, пройдя свое становление, постепенно формирует стратегическое лидерство организации.

Стратегическое лидерство – это постоянное и долгосрочное превосходство среди конкурирующих предприятий и организаций.

Со времен Генри Форда, и его методов организации труда, прошло много лет. Поменялись технологии, количество производственных рабочих мест (сократились), ввиду еще большей автоматизации процессов. Обучение сотрудников предприятий потребовало нового подхода к развитию способностей работников, а также их эффективной коммуникации.

В настоящее время, крупные компании столкнулись с проблемами обучения сотрудников внутри офисов – это руководители и специалисты управлений/отделов на предприятиях.

Дело в том, что система обучения, перешедшая от крупных промышленных компаний, где проходили занятия для большого числа работников одинаковой специализации, уходит в прошлое. Бизнес-процессы оптимизировались, количество людей на выполнение тех или иных работ значительно сократилось.

Поэтому отделы и управления организаций формируются из меньшего числа людей. Однако при сокращении отдела до критических отметок – 1,2 человека, эффективность труда резко падает. Это происходит из-за нарушения баланса количества труда и количества рабочей силы.

Оптимальным количеством людей, по мнению западных и российских HRM – это команда или рабочая группа из 8 человек. Подтверждением данной теории является эмпирическое

изучение крупных IT-компаний, нефтяных и ритейл корпораций. Малые группы – это наиболее устойчивые объединения людей для работы, не превышающие 8 человек.

Непосредственный опыт схемы работы данной теории представлен в дочернем Обществе ПАО «НК «Роснефть» – АО «Оренбургнефть». В управлении корпоративной собственности и корпоративного управления используется самая эффективная организация труда с точки зрения коммуникаций и работы бизнес-процессов. Количество сотрудников одного отдела не превышает 8 человек и не доходит до критической отметки – 1, 2 человека.

Тем не менее, при оптимальном составе участников рабочих процессов, обучение происходит не должным образом, ввиду влияния человеческих факторов, политики организаций, а также отсутствия предложений для изменения устоявшихся стереотипов по обучению персонала и формирования стратегического лидерства.

Обучение малых групп – это мобилизация внутреннего потенциала сотрудников, развитие новшеств с помощью познания прикладных и фундаментальных наук.

Для повышения уровня способностей и компетенций, организации зачастую планируют обучение одного сотрудника, тем самым косвенно возвышая его над коллегами по работе. Это негативно сказывается на рабочих процессах, т.к. прошедший обучение работник не может полностью передать полученные знания коллегам, тем более, что воспринятая информация одним человеком проходит сквозь призму его жизненного опыта и сильно искажается. Причины могут быть следующими:

- разный профиль образования сотрудников отдела;
- иное восприятие данных и информации;
- знания, полученные от предыдущего опыта, воспринимаются как «само собой разумеющееся» и не рассматриваются обучаемым как что-то важное для других.

Поэтому для формирования стратегического лидерства при обучении, компаниями должен использоваться стратегический принцип.

Стратегический принцип – это одинаковое поведение людей в необычных, сложных и динамичных ситуациях.

Для реализации стратегического принципа стоит обучать сотрудников отдела вместе, проводя тренинги в виде деловых игр:

1. Деловая игра методом теоретических данных – работа по документам, математическому анализу «на бумаге», т.е. создание идеальных условий, где рабочие процессы закреплены строгими механизмами регламентирующих документов;

2. Деловая игра методом «реальная картина» – рассмотрение всех вопросов через повседневные рабочие процессы, социальные и деловые коммуникации внутри офиса и за его пределами, разработка маршрута для выполнения задач с учетом личных особенностей сотрудников (заострив внимание на руководителей, от которых зависит принятие решений).

Чтобы получить превосходный результат и освоить стратегический принцип (одинаковое поведение в определенных ситуациях), малые группы обучаются вместе, разделяясь между собой в пары-трио или квартеты.

Для усиления эффекта обучения и охвата смежных областей, в процессе обучения проводят обмен сотрудниками из разных отделов. Это мультиплицирует эффект обучения и позволяет вырастить будущих руководителей или создать самостоятельное руководящее структурное подразделение из реальных практиков производства. Так как коллеги по работе знают все используемые цепочки рабочих процессов и понимают работу всего управления – такие малые группы, направленные на обучение стратегическому лидерству, ценятся и подают пример остальным сотрудникам действовать похожим образом (метод тени).

Применяя стратегический принцип, малые группы осваивают/получают:

- рабочие процессы «как должно быть» в теории, и «практика реальности» в повседневной работе;
- одинаковые данные/информацию всеми сотрудниками подразделения;
- принцип стратегического лидерства – работа по одинаковому плану при различных

ситуациях, где каждый член команды/рабочей группы знает то, что будут делать его коллеги в зависимости от возникновения неопределённости и смены условий работы;

- способность взаимозаменяемости;
- равенство в получении данных и информации;
- собственных руководителей-практиков, которые знакомы со всеми рабочими участками и цепочками бизнес-процессов.

В XXI веке узконаправленные специалисты могут работать и обучаться поодиночке, но представители широкой группы трудовых отношений требуют иного способа обучения для стратегического лидерства организации. Малые группы эффективно обучать вместе.

Это не означает что иные практики, которые широко используются при обучении специалистов поодиночке не способны принести высокие результаты и увеличить оптимизацию, а вместе с тем прибыль компании. Безусловно, такие методы использовались и будут применяться в дальнейшем, так как развитие цифровизации и переход на удаленный рабочий режим будут отдалять друг от друга коллег по работе. Но, если организация заинтересована в стратегии обучения, высокой эффективности труда, собственных лучших специалистах, устойчивости компании в «бурях» и кризисах, а также надежности при других факторах воздействия, то обучение с использованием стратегии лидерства малых групп для компании будет стоять на первом месте.

Для получения вышеуказанных результатов, малые группы должны обучаться новым способом, и в дальнейшем стать ключевым инструментом повышения производительности, качества труда компаний, которые будут претворять в жизнь стратегию и миссию организации через малые группы.

При отладке такого бизнес-кейса произойдет:

1. Корреляция миссии компании и ее стратегии.
2. Сформируются новые ценности и корпоративная культура.
3. Изменяются внутренние коммуникации.
4. Снизятся или полностью исчезнут мешающие барьеры при работе.

Если в организациях не будут реализовывать обучение малых групп в стратегии лидерства, то в ближайшем времени проявится фаза обскурации, внутренняя руководящая элита и специалисты компании не сформируются на профессиональном уровне: «Далее неизбежно следует фаза обскурации, при которой процессы распада становятся необратимыми, поскольку элиту составляют вялые и эгоистичные потребители, которые живут сиюминутным моментом, игнорируя любые мысли о каком-либо развитии и тем самым отрицая будущее» ([2], с. 22).

Проанализировав тему развития персонала с помощью обучения малых групп в стратегии лидерства, справедливо подвести следующие итоги:

- использование новых концептуальных подходов соответствует современным потребностям трудовых отношений в организациях;
- применение новых, нетривиальных подходов обучения, позволит образовать стратегическое лидерство и развить необходимые способности штатных работников на предприятиях.

Библиографический список

1. *Миловзорова М. Н.* Управление человеческими ресурсами организации: учебное пособие. СПб: БГТУ «Военмех», 2009. 125 с.
2. *Миловзорова М. Н.* Значение ценностей в управлении социальными системами // Теория и практика общественного развития. 2015. №14. С. 20 – 22.
3. *Форд Г.* Моя жизнь и моё дело. М.: Концептуал, 2019. 288 с.
4. Официальный сайт ПАО «НК «Роснефть» [Электронный ресурс]. URL: <https://www.rosneft.ru/> – Дата обращения: 18.03.2021.
5. Официальный сайт АО «Оренбургнефть» [Электронный ресурс]. URL: <https://orenburgneft.rosneft.ru/> – Дата обращения: 18.03.2021.

А. Ю. Труфанова

Балтийский государственный технический университет «Военмех» им. Д. Ф. Устинова

Прошедший год в очередной раз показал, что такое явление как кризис представляет собой настоящую угрозу выживанию предприятиям. Условия кризиса – это период нестабильности окружающей среды, который несет в себе ряд серьезных перемен. При этом те самые перемены могут быть как позитивными для организации, так и негативными. Обычно в период кризиса организации уделяют наибольшее внимание финансовым и правовым механизмам своей деятельности, персоналу грозит сокращение, с единственной целью – уменьшение затрат. [6] Но стоит отметить, что основным ресурсом для конкуренции на рынке, между организациями, являются знания, умения и навыки сотрудников. Умение выйти из кризисной ситуации, ничего не потеряв или даже приобретя – показывает истинную подготовку компании к экстренным ситуациям. Именно грамотная постановка целей, определение целевой аудитории компании и подбор маркетинговых инструментов повышает вероятность успеха всей маркетинговой стратегии компании в условиях кризиса.

На основании историй компаний и опыта стоит отметить, что наиболее эффективным будет такая маркетинговая стратегия, где применен метод многоканальности [4].

Многоканальный маркетинг достаточно известный и популярный способ продвижения товаров или услуг, отличный инструмент для увеличения влияния на потребителя. Суть метода состоит в использовании двух и более дополняющих друг друга каналов работы с целевой аудиторией одновременно, наглядно представлено на рис. 1. Именно многоканальное продвижение и предоставление продукта или услуги на рынке приводит к устойчивому повышению прибыли и развитию бизнеса в целом ([1], с. 254).

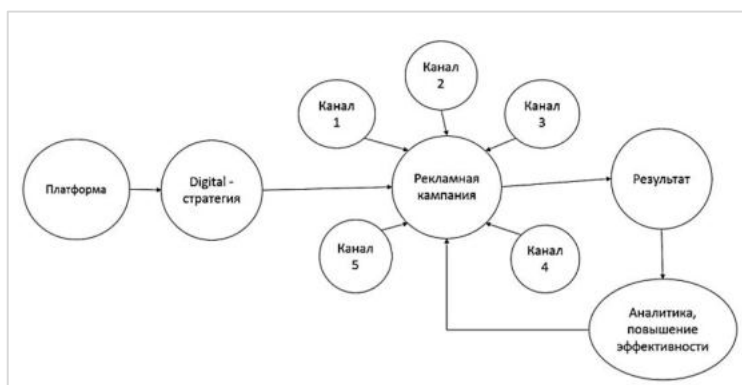


Рис. 1. Общая схема работы многоканальной маркетинговой системы

Источник: *Большаков А. С. Антикризисное управление на предприятии. Финансовый и системный аспекты. М.: СПбГУП, 2017*

Важно помнить, что самым важным в организации и внедрении многоканального маркетинга остается индивидуальный подход к его разработке [4].

Также выделяют омниканальный маркетинг, который также соединяет в себе множество каналов, однако в сравнении с многоканальным, сохраняя актуальность сообщений, обновляя отдельно взятый канал по мере взаимодействия потребителя с компанией. Все каналы связи работают воедино, создавая единое обращение, «голос» компании. Потребитель сегодня – это

многозадачный омниканал, он черпает информацию со всех источников, взаимодействуют с брендом, формируя позитивные или негативные впечатления о компании. Зачастую большую роль в совершении покупки играет чувство доверия к продукции или услуги и к компании в целом. Омниканальный маркетинг ставит в приоритет потребителя, именно клиент является центром всеобщей стратегии. Посылаемые сообщения изменяются и адаптируются под степень взаимодействия с другими каналами, когда, например, в многоканальной системе отправляются одно и то же сообщение по всем каналам [3].

Ранее маркетинг ассоциировался только с творчеством, где всё зависело от опыта и таланта сотрудника компании. Сейчас же это понятие напрямую связывают с подсчетом эффективности маркетинговых ходов, результатов деятельности компании, как финансовых, так и количественных и выбором наиболее удачных маркетинговых инструментов. Именно поэтому в ситуации кризиса каждая компания активно нуждается в аналитике внешней и внутренней среды компании. Маркетинг перестал быть исключительно творческим процессом, он добавил в себя анализ.

В XXI веке упор сместился с массового производства, на производство индивидуальных заказов клиентов ([2], с.137). Современному потребителю необходимо чувствовать причастность, что бы с его мнение считались, поэтому его нужно втягивать в процесс разработки продукта, в чистом виде маркетинг сотворчества, также необходимо налаживать обратную связь с целевой аудиторией: чувствовать изменения их потребностей и слушать реакции на те или иные новшества. К примеру, множество компаний предлагают написать клиенту отзыв об услуге или продукте, а в обмен он получает скидку на следующую покупку. Таким образом встраивается прочная система коммуникации между компанией и потребителем, основанная на обоюдном удовлетворении обеих сторон.

Девелоперское агентство «МОЛЛ. Экспертиза & консалтинг» проводило исследование эффективности применения классических маркетинговых инструментов в условиях кризиса, когда финансовые возможности потребителей сокращаются, а на первый план выходит необходимость экономии денежных средств и плановый формат покупок.

Из-за перенасыщения классические средства ATL (телевидение, радио, газеты, журналы, наружная реклама) быстро теряют свою популярность, мозг человека начинает подсознательно игнорировать пестрые и громкие рекламные лозунги. Дополнительно к озвученному стоит отметить, что роль интернета в современном мире сложно переоценить, поэтому логичным итогом исследования было активное сокращение аудитории периодических изданий, тем самым сокращая тиражи, наглядно эту динамику видно на рис. 2.

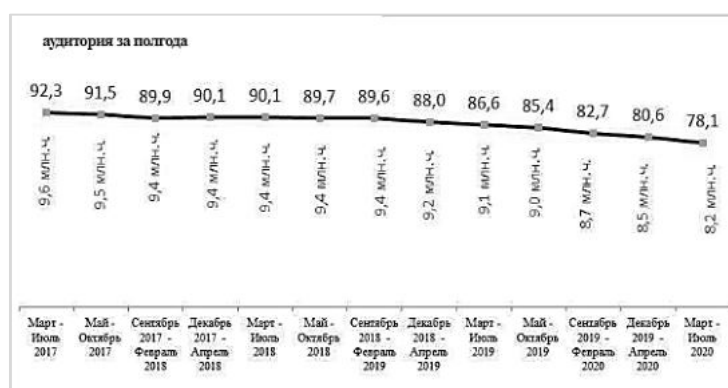


Рис. 2. Динамика аудитории печатных изданий в Москве за 2017-2020гг., млн.ч.
 Источник: Mediascope, NRS-Москва. 2017–2020 гг. Аудитория за полгода, аудитория одного номера (AIR), млн. чел., % от населения 16+ лет

Стоит отметить, что из перечисленного наименьшая потеря аудитории наблюдается на позициях радио и наружная реклама. Но при этом требования потребителей существенно повышаются в отношении к такой рекламе. Она должна оставлять неизгладимое впечатление для того что бы простимулировать к потреблению.

На данный момент наиболее актуальным является трейд-маркетинговые программы, длительностью не более двух недель, без сложных и длительных механик. Идеальным примером таких программ являются: «ночи распродаж», «черная пятница», скидки пенсионерам в определенные утренние часы, скидки в день рождения клиента или приятный подарок при покупке товара или услуги на определенную фиксированную сумму.

Так как экономическая обстановка заставляет потребителей мыслить более рационально и не покупать товары или услуги под эмоциями, свою актуальность и эффективность теряет эмпирический маркетинг или «маркетинг переживаний», его вытесняет «маркетинг преимуществ», который представляется в виде сезонных скидок, самой низкой ценой в городе или скидкой на определенный продукт [5].

Всеобщий кризис 2020-го года показал, что далеко не все компании способны пережить экономические трудности в длительной перспективе. Одни компании оказались на грани выживания, а другие смогли перестроиться и начать функционировать с новой силой.

Библиографический список

1. *Большаков А. С.* Антикризисное управление на предприятии. Финансовый и системный аспекты. М.: СПбГУП, 2017. 488 с.
2. *Зуб А. Т.* Антикризисное управление. М.: Аспект пресс, 2017. 320 с.
3. *Самородский В. А., Хлусова И. А.* Антикризисное управление. М.: КолосС, 2018. 208 с.
4. *Липсиц И.* Маркетинг в условиях кризиса компании: отказываться или развиваться [Электронный ресурс] // Журнал «Генеральный директор»; URL: <https://www.gd.ru/articles/3272-red-marketing-v-usloviyah-krizisa> (Дата обращения: 19.03.2021).
5. Редакция БИБОСС [Электронный ресурс] // URL: <https://www.beboss.ru/franchise/j-232-kak-razrabotat-marketingovuyu-strategiyu-v-krizis> (Дата обращения: 16.03.2021).
6. *Ярных В.* Деятельность предприятия в условиях кризиса [Электронный ресурс] // Питер-Консалт; URL: <https://piter-consult.ru/home/Articles/company-stage-crisis/company-crisis-what-farther.html> (Дата обращения: 16.03.2021).

УДК 378

ИЗМЕНЕНИЕ МЕТОДОЛОГИИ ПОДГОТОВКИ СПЕЦИАЛИСТОВ ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН НА КАФЕДРЕ «ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТРОЙСТВА АВТОМАТИЧЕСКИХ СИСТЕМ» С ПРИМЕНЕНИЕМ ЭЛЕМЕНТОВ ГЕЙМИФИКАЦИИ

Е. О. Фролова, В. А. Лобов

Балтийский государственный технический университет «Военмех» им. Д. Ф. Устинова

Статья выполнена в рамках дисциплины «Инновационные образовательные технологии в высшей школе».

В современном, быстроразвивающемся мире высшее образование сталкивается с новыми вызовами. Многие инженерные специальности сильно зависят от накопленного годами объема теоретических знаний (в виде учебников, учебных пособий), материально-технического

оснащения лабораторий и др. Несвоевременное обновление которых может привести к устареванию полученных знаний к моменту выпуска специалиста из учебного заведения. В этой связи наблюдается переход к новой образовательной парадигме (парадигме постиндустриального общества), к технологическому и проектно-технологическому типу образования. Следовательно, появляются новые виды профессий на стыке наук, содержащих элементы компьютеризации и цифровизации. Данный процесс приводит к необходимости формирования инженеров новой формации, обладающих не только комплексом компетенций, но и умеющих быстро осваивать новые технологические процессы [1].

Геймификация (игрофикация или геймизация) – это применение игровых подходов к неигровым процессам с целью повышения вовлеченности и мотивации участников к решению прикладных задач. Термин был предложен в 2004 году английским программистом Ником Пиллингем. Применение геймификации в обучении позволяет достигать ряда целей, среди которых можно выделить:

1. вовлечение обучающегося в образовательный процесс;
2. повышение мотивации и заинтересованности в самообучении;
3. повышение качества и объема усвоенного материала;
4. стимуляция заинтересованности в развитии и образовании.

Для успешного достижения поставленных целей необходимо грамотно выстроить сам процесс функционирования системы геймификации для выбранной аудитории обучающихся, по конкретному направлению подготовки, что позволит учесть специфику предлагаемого материала и формируемых компетенций у будущих специалистов. Кевин Вербах предложил 6 главных шагов по созданию успешной системы геймификации:

1. Постановка цели. Цели геймификации должны быть конкретными, измеримыми, достижимыми, актуальными и ограниченными во времени.
2. Условия игры. На данном этапе необходимо задать целевое поведение игроков, конкретные шаги, которые игроки должны предпринимать для достижения поставленных целей.
3. Классификация игроков. Процесс игры предполагает распределение ролей среди участников, например, Джеймс Уайетт (разработчик игровой системы «Dungeonsandragons») предложил 5 основных ролей: актер, исследователь, мыслитель, наблюдатель, подстрекатель [2].
4. Структура функционирования организации процесса геймификации на двух уровнях.

Микроуровень-разработка циклов вовлечения, то есть «мотивация к выполнению задачи – действия игрока – обратная связь от системы». По завершении первого цикла (уровня) следует мотивировать игрока к следующему циклу действий.

На макроуровне – развитие игрока (путешествие игрока) от новичка на первом уровне до мастера на завершающих уровнях. Развитие представляет собой множество последовательных циклов вовлечения с заранее разработанным сценарием.

1. Средства мотивации. Награды (бонусы, очки, рейтинги и др.) формируют интерес, чтобы система работала игроки должны быть заинтересованы, игра должна быть приятным занятием и развлечением.

2. Реализация. Для выстроенной системы геймификации следует так же предусмотреть порядок реализации процесса. Возможно это будет сайт вуза, мобильное приложение, физические устройства или иные формы взаимодействия системы и игрока.

Помимо информативной базы и структуры игры разработанных на предыдущих этапах, следует добавить ключевые элементы геймификации – игровые динамики и механики. Игровые механики представляют собой правила игры и награды (баллы, достижения, уровни и др.). Игровыми динамиками являются сценарии участия в игре, описывающие работу механики и откликаются на действия игрока в процессе его развития-путешествия.

В работе [4] предложен обзор онлайн платформ для обучения школьников и более взрослой аудитории обучающихся. Очевидно, что обширная область применения элементов геймификации позволяет охватить различные направления подготовки в высшей школе, например, в предложенном обзоре представлены платформы для изучения иностранных языков, IT-

технологий, управления и бизнеса. Таким образом геймификация является важной характеристикой новой образовательной платформы. Выделим ее характерные черты.

Как уже отмечалось в основе геймификации, как и любой игры лежит поставленная цель, а сам процесс направлен на достижение этой цели. В процессе участники выполняют ряд действий используя теоретическим материалом, что в свою очередь развивает учебно-познавательную функцию, а также навыки самообразования. Используя игровые приемы и инструменты (сюжет, роли, правила) обучающиеся достигают образовательных целей. Результатом может быть решение производственной задачи, усвоение теоретического материала по дисциплине, а также формирование навыков (умений) у участников в процессе игры.

Следует отметить положительную особенность процесса геймификации заключающуюся в том, что каждый участник в процессе взаимодействия пробует себя в новых качествах, развивает в себе новые навыки, например, можно быть отличным аналитиком или дизайнером в конкретном проекте, не имея при этом специальной подготовки по дополнительным дисциплинам. Увлекаясь процессом, участники мобилизуют свои силы, раскрывают творческие способности для преодоления трудностей, а система бонусов и наград способствует развитию духа соперничества и желания «переиграть» конкурентов.

Результативность применения элементов геймификации в образовательном процессе объясняется еще и тем, что согласно теории поколений, разработанной Уильямом Штраусом и Нилом Хау, современное поколение «миллениалов» характеризуется рядом особенностей таких как желание немедленного вознаграждения за труд и повышенный интерес к техническим средствам, что связано с преобладанием клипового мышления. Потому геймификация обладающая возможностью визуализации материала, использованием цифровых технологий и элементов игры в неигровых процессах позволяет обеспечить интерес к изучению нового материала, развить навыки работы в команде, умение оценивать ситуацию и риски, а также решать сложные производственные задачи. Обучающиеся находясь в конкуренции получают дополнительный стимул к освоению большого теоретического материала, помимо этого работают в команде и обсуждают результаты своей деятельности сообщая, с другими участниками, что способствует развитию коммуникативных качеств и способности решать поставленные задачи в установленные сроки, а также представлять результаты своей работы широкой аудитории.

Особенностью современного мира является огромная скорость развития технологий, пополняющийся и изменяющийся теоретический материал. Новые методы исследований и открытия на стыке наук требуют постоянного обучения специалистов, обучения в течение всей жизни, что особенно актуально для инженерных специальностей. В этой связи целью вузовского образования становится не «наполнение» обучающегося объемом необходимых знаний, а формирование у него познавательных стратегий самообучения в рамках профессиональной деятельности. Применение методик геймификации позволяет решать поставленные задачи даже в сложных, наукоемких направлениях подготовки в высшей школе, например, при подготовке инженеров технических вузов. Одним из примеров применения геймификации в образовании является проект Высшей инженерной школы EG Тюменского индустриального университета «Oil&GasIndustry». Особенностью Школы стал проектный подход. Обучающиеся решают инженерные задачи, по принципу от «простого к сложному», а также учатся определять возможные пути достижения проектного результата.

При использовании элементов геймификации для изменения методологии обучения инженеров стоит учитывать специфику технического образования в целом, которое невозможно представить без большого объема теоретического материала, специализированного оборудования, а также материально-технического оснащения.

В БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д. Ф. Устинова на кафедре Е4 «Высокоэнергетические устройства автоматических систем» в рамках дисциплины «Технологическое оборудование» были использованы элементы геймификации с целью повысить мотивацию обучающихся в освоении дисциплины, а также формирования навыков необходимых для профессиональной деятельности будущих специалистов.

Проект разделен на уровни, каждый из которых имеет свою цель и является этапом к достижению общей цели проекта, причем цель обучающихся (игроков) находится на первом месте, они сами для себя определяют способ организации деятельности и степень погружения в решение задач. Таким образом, основной становится не задача преподавателя донести материал, а задача обучающихся – найти материал, ознакомиться с ним самостоятельно, выполнить поставленную задачу, а также донести результаты до своих коллег. Преподаватель дисциплины выступает в роли академического наставника, создает необходимые условия для функционирования системы геймификации и для успешной деятельности обучающихся.

Этапы освоения дисциплины предполагают изучение теоретического материала, знакомство и работу с материально-техническим оснащением лабораторий кафедры, практическую работу с представленными образцами, на заключительных этапах обучающиеся получают конкретную производственную задачу и решают ее в команде, используя полученные навыки и знания. Помимо основных этапов предусмотрены дополнительные задания, за выполнение которых обучающиеся освобождаются от прохождения основных этапов. Задания можно выбрать самостоятельно и при успешном выполнении получить поправки на экзамене, тем не менее, дополнительные задания предполагают углубленный курс изучения дисциплины в более сжатый срок, меньше времени на освоение курса – выше результат, а также выше риск остаться ни с чем в случае неудачи и вернуться на начальный этап к прохождению основного курса.

Таким образом последовательность основных этапов состоит из 5 уровней с промежуточными аттестациями и уровнями контроля:

1. Постановка цели или знакомство с игрой. Помимо теоретических источников (конспект лекций в электронной форме, перечень рекомендованной литературы, а также ряд статей и патентов по теме дисциплины) предоставлены заранее подготовленные видеоматериалы с примерами конкретных образцов оборудования имеющихся в распоряжении ведущих предприятий отрасли машиностроения. В видеоматериалах указан парк оборудования и показан принцип его работы в реальных условиях, что сопровождается комментариями преподавателя.

Предподготовка (первая промежуточная аттестация). Обучающимся предлагается задание содержащее фотографии образцов оборудования (рассмотренных в лекционном курсе, рекомендованной литературе и показанном в видеоматериалах) с расстановкой позиций основных элементов под номерами. Каждому игроку ставится задача: определить оборудование, обозначить его область применения, провести соответствие пронумерованных элементов с названиями основных узлов и деталей, указать преимущества и недостатки данного типа оборудования, примеры заданий приведены на рис. 1 (а).

Вторым заданием этапа является изучение предложенного чертежа с ошибками. Игроку следует найти ошибки, исправить их, а также обосновать свою позицию, пример задания представлен на рис. 1 (б).

Третье задание представляет собой онлайн тест, ограниченный по времени и содержащий по 4 варианта ответа на поставленные теоретические вопросы.

Итоги двух этапов отображаются в общей таблице, доступной для просмотра всем участникам в системе Moodle, таким образом, каждый игрок видит количество полученных очков и успехи конкурентов, таблица составляется с учетом ранжирования обучающихся (т.е. большее количество очков обеспечивает более высокую позицию рейтинга).

2. Практическая работа. Обучающиеся прошедшие первые два этапа (теоретических) получают доступ к работе с реальными образцами оборудования, имеющимися в лабораториях кафедры. Задачей на этом уровне является: выполнить расчет подачи заготовок к прессу, необходимо запустить оборудование, измерить параметры режима работы, замерить основные элементы, провести расчет, представить отчет о результатах работы преподавателю.

3. Реальная задача. Освоив теоретический материал, а также непосредственную работу оборудования, обучающиеся получают конкретную производственную задачу по обеспечению изготовления заданных изделий определенной партии за ограниченный срок. Этот уровень предполагает совместную работу в команде из 2 – 3 человек, а также несколько вариан-

тов решения задачи. Команда игроков получает исходные данные: бюджет, технологию изготовления изделия (количество переходов штамповки, а также параметры каждого перехода), перечень образцов парка оборудования имеющегося в распоряжении (включая паспорта оборудования со всеми характеристиками), условное время на производство изделия (календарный год), представленные на рис. 2.

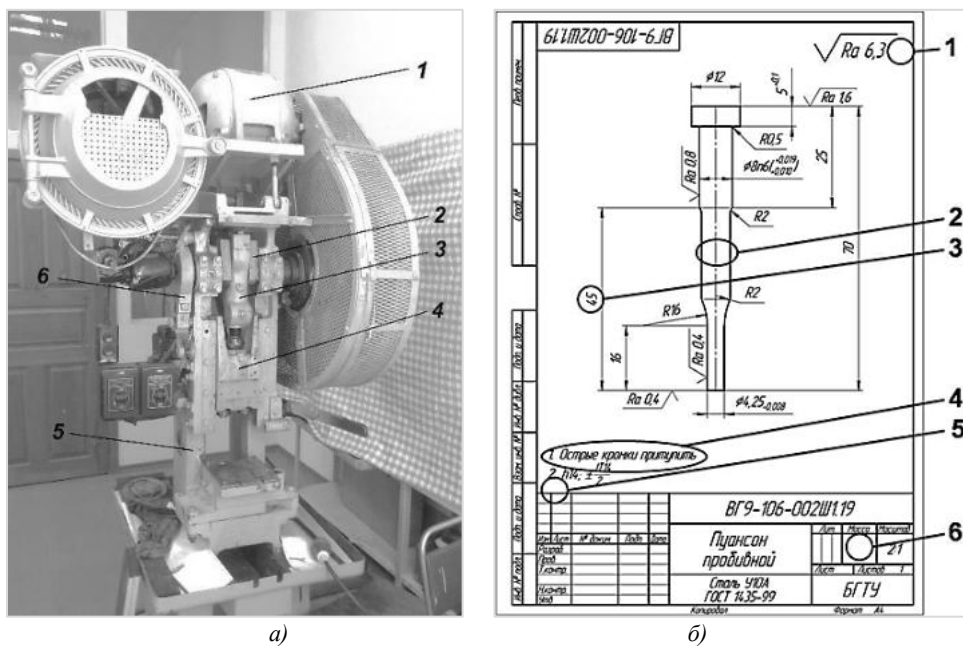


Рис. 1. Примеры заданий

- а) первый этап: 1 – электродвигатель, 2 – вал, 3 – шатун, 4 – ползун, 5 – станина, 6 – тормоз;
 б) второй этап: 1 – не указан знак шероховатости «кроме поверхностей, обозначенных особо»; 2 – не указан диаметр; 3 – избыточный размер; 4 – недопустимое требование для инструмента пробивки; 5 – не указана требуемая твердость; 6 – не указана масса



Рис. 2. Последовательность выполнения задания

Задачей является обеспечить изготовление большего количества изделий с меньшим расходом бюджета в установленный срок – календарный год, по итогам составить циклограмму работы выбранного оборудования по операциям штамповки, подготовить доклад и защиту своих результатов. Следует отметить, что вариантов решения поставленной задачи всегда несколько, а, значит, команде игроков следует проработать все варианты и выбрать самый

результативный. По итогам выполнения работы, обучающиеся докладывают о своих результатах другим командам, аргументируя выбранную стратегию, проходит обсуждение между представителями команд.

4. Экзамен. По результатам пройденных уровней формируется окончательный рейтинг обучающихся. Игроки, успешно выполнившие все задания и занявшие высокие позиции в рейтинге, допускаются к сдаче экзамена по дисциплине.

Помимо основных этапов разработан ряд дополнительных заданий за выполнение которых обучающийся может получить больше баллов, чем его конкуренты выбравшие основные этапы. К дополнительным заданиям отнесены:

- Участие в конкурсах по дисциплине (проводимые ПАО «Силловые машины», ОАО «Арсенал», БГТУ «ВОЕНМЕХ» и др. Причем чем выше уровень конкурса, тем выше баллы.
- Освоение дополнительных пакетов программ численного моделирования.
- Участие в конференциях БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова, а также в других ведущих вузах (МГТУ им. Баумана, ТулГУ, МАИ, СПбПУ).
- Поощрение первых выполнивших задания основного курса и др.

Рейтинговая система оценивания ведется на протяжении всего семестра и регулярно обновляется по прохождении каждого этапа отдельно взятым участником. Обучающиеся могут отслеживать результаты, заходя в личный кабинет под своим логином. Игроки, набравшие требуемое количество баллов, возглавляют топ рейтинга и освобождаются от экзамена по дисциплине. Приведенный перечень примеров для создания и контроля функционирующей системы геймификации соответствует уже действующей методике ведения дисциплины «Технологическое оборудование» на кафедре «Высокоэнергетические устройства автоматических систем». Приведенная методика была опробована на трех группах (Е441, Е451 и Е452) прошедших полный курс дисциплины и показала высокие результаты. Обучающиеся активно участвовали в конкурсах, конференциях, а также осваивали пакеты прикладных программ численного моделирования непредусмотренные в курсе дисциплины, полученный опыт был использован обучающимися при выполнении выпускных квалификационных работ и их защиты. По окончании курса дисциплины проведен опрос обучающихся (в качестве обратной связи) о их впечатлениях, а также пожеланиях о дальнейшем совершенствовании методики. Опрос показал высокую оценку, из рекомендации можно отметить:

- повышение качества обратной связи (результат-начисление баллов);
- дополнительные задания для 4 этапа (увеличить парк оборудования, номенклатуру изделий);
- увеличение количества дополнительных этапов.

Библиографический список

1. *Кальва И. С., Пимнев А. Л.* Формирование навыков инженера в свете геймификации технического образования на примере высшей инженерной школы EG ТИУ // Тюменский индустриальный университет. Тюмень. 2019. С.74 – 77.
2. *Колотыгина А. О., Сидоренко Е. Б.* Использование геймификации в обучении студентов вузов // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. 2016. С. 30 – 35.
3. *Гимельштейн Е. А., Годван Д. Ф., Стецкая Д. В.* Применение инструментов геймификации в образовании. Иркутск: 2020. С. 32 – 33.
4. *Коваль Н. Н.* Геймификация в образовании // Вестник «Орлеу-kst». 2016. С. 25 – 29.
5. *Дмитриев Ю. Н., Шматко А. Д.* Геймификация в преподавании математических дисциплин. СПб: 2020. С. 55 – 59.

**ЧАСТНЫЕ ИНИЦИАТИВЫ ДЛЯ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ
ЭФФЕКТИВНОСТИ АЭРОКОСМИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА****С. С. Царьков***Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)*

Введение. В начале XX века никто не подозревал, что с приходом нулевых годов XXI века космос будет перемещаться из государственного владения в руки коммерческих частных организаций и окажется фрагментом коммерческой структуры. Мало кто понимал, что для существенного прыжка в развитии изучения космоса необходимо предоставить возможность участия в исследованиях и освоении космоса частному предпринимательству, малому и среднему бизнесу. Этот скачок, прежде всего, объясняется становлением освоения околоземного космоса достаточно доходным делом и привлекает все больше частных инвестиций. Кроме того, стремительное развитие научно-технического прогресса и наличие высококвалифицированной рабочей силы открывают новые направления в коммерческом использовании космического пространства. Такой подход представляется крайне разумным, поскольку стартапы, развиваясь при поддержке государства, начинают привлекать крупные частные финансирования, что, в конечном итоге, приводит к экономии государственного бюджета.

Материалы и методы. Методический аппарат исследования включает экономические методы, представляет собой синтез абстрактно-теоретического анализа, системного и структурно-функционального, логического подхода, статистических методов, хронологического анализа. Информационной базой исследования являлись: статистические материалы, отчетные данные космических агентств развитых стран, публикации периодической печати, интернет-ресурсы ведущих научно-исследовательских центров России, США, результаты собственных исследований.

Литературный обзор. В области освоения космического пространства частными организациями американцы оказались первопроходцами – они смогли обеспечить доступ к космической отрасли для частных инициатив, преобразовав монополизм американского аэрокосмического агентства NASA и превратив его в управляющую космическими проектами страны организацию. Зная об окончании полетов собственного шаттла через четыре года, в 2006 году, NASA приняло решение передать снабжение МКС на откуп коммерческим организациям. Естественно, конструирование на замену шаттлам новой ракеты могло быть осуществлено государственными структурами Соединенных Штатов Америки, но руководство предпочло уменьшить финансовые затраты. NASA фактически завершило разработку новых технологий, поднятие на земную орбиту спутников различного назначения и транспортировку грузов на земную орбиту, что было наиболее дорогостоящей частью космической программы.

Стоит отметить, что с 2011 года NASA не проводит пилотируемые запуски космических аппаратов. Отныне в его управлении находится предоставление коммерческим организациям своей испытательной базы и распределение бюджетных средств между wybranными организациями, самостоятельно проектирующими модели ракет в попытках уменьшить наиболее дорогую часть при помощи новейших технологий, что позволяет претендовать на тендер у NASA. Отчет *Emerging Space*, показывает, что число подобных организаций перевалило за двадцать. Но как огромному государственному ведомству реализовать распределение средств финансирования между амбициозными коммерческими организациями в соответствующей возможностям организаций пропорции, при этом грамотно выстроить делегирование разработки всей инновационной технической составляющей аэрокосмической отрасли страны?

Национальное управление по аэронавтике и исследованию космического пространства разработало поэтапную программу, направленную на модификацию коммерческих пилотируемых космических кораблей для транспортировки космонавтов на МКС. Описанная выше

программа получила название Commercial Crew Program. Устроенная государственным гигантом своего рода гонка, соревнование, коммерческих компаний за финансирование проводилась в четыре этапа. На каждом этапе компаниям ставились масштабные задачи и выделялось финансирование на реализацию поставленной задачи. Например, первый тур программы предполагал распределение средств бюджета величиной \$50 миллионов между некоторым количеством организаций-претендентов и подписанием особого договора для исследования и реализации определенных концепций и технологий, которые необходимы для внедрения пилотируемых полётов. Описанное соглашение наделялось списком точных целей, сроков и критериев их исполнения для каждого претендента.

NASA распределило примерно \$270 миллионов на втором круге между 4 организациями-победителями и подписало с ними договоры, которые подразумевали точное исполнение всех пунктов перечня. Аналогичным образом проводились третий и четвертый раунды, после которого были определены победители. Победители финального этапа программы были объявлены в 2014 году – ими стали организации Boeing и SpaceX, поделившие между собой средства в размере \$6,8 миллиардов, необходимые им для успешного проектирования, сертификации и демонстрации разработанных пилотируемых аппаратов. Рассмотрим подробнее, как повлияло на темпы развития этих двух компаний финансирование федеральным ведомством.

Затрагивание темы частного бизнеса в космической сфере, мгновенно вызывает ассоциацию с SpaceX. Победа в конкурсе проекта Commercial Orbital Transportation Services, организованного NASA летом 2006 принесла организации SpaceX \$400 миллионов на конструирование ракеты-носителя тяжелого класса Falcon 9 и многоразового корабля Dragon, который разработан для транспортировки грузов на МКС. В 2006 году организация запустила сконструированную на собственные средства первую ракету-носитель Falcon. Три пуска из пяти завершились авариями, а последующие два прошли успешно. Однако это оказалось особого рода разминкой. SpaceX закончила программу Falcon 1 и в 2009 году направила свое внимание на Falcon 9, ракету-носитель большей грузоподъемности, и космический транспортный аппарат Dragon. Эти проекты профинансировала NASA по программе Коммерческой орбитальной транспортировки (Commercial Orbital Transportation Services), которая проводилась с 2006 по 2013 годы. Победившая организация Илона Маска получила 396 миллионов долларов.

Эта программа была инициирована Правительством Соединенных Штатов Америки, которое стало осознать, насколько выгодно подобное делегирование модернизации аэрокосмической отрасли, и решило отныне не предоставлять космическому государственному агентству бесчисленных средств на транспортировку грузов на Международную Космическую Станцию: один лишь полет Shuttle забирал из казны государства 500 миллионов долларов. Увеличив эту сумму до 800 миллионов долларов, Белый дом начал стимулировать проектирование частных ракет и космических кораблей, предполагая в дальнейшем выбирать самые выдающиеся модели.

Первый запуск одноразовой и относительно многоразовой ракеты-носителя тяжёлого класса Falcon 9 произошел летом 2010. Через шесть месяцев компания Маска в первый раз отправила в космос корабль Dragon. В NASA посчитали проведенные запуски удачными. Dragon провел свою первую стыковку с МКС в мае 2012: ранее подобными технологиями владели только государственные структуры Соединенных Штатов, Российской Федерации и стран Европейского Союза.

Полеты по контракту NASA со SpaceX начались в 2012 году – организация производила транспортировку грузов на Станцию и при необходимости забирала грузы с нее. В общей сложности запланировали двенадцать полетов, стоимость контракта по которым составила 1,6 миллиарда долларов. К 2014 году SpaceX производила двадцать процентов мировых частных запусков. Организация Маска заключила девять новых контрактов – такое же количество досталось NASA, которая подписала со SpaceX контракт на окончание конструирования аппарата Dragon 2 осенью 2014 года, его стоимость составила 2.6 миллиарда долларов. Одновременно организация осваивает технологию многоразовой эксплуатации ракеты на собственные

средства, проектируя вертикальный взлет и посадку. Эффективная работа SpaceX заставила самых крупных изобретателей ракет-носителей, не исключая американскую организацию United Launch Alliance, японскую Mitsubishi Heavy Industries и европейскую Arianespace, уже в 2015 сделать объявления об основательных изменениях своей структуры для достижения 50-процентного уменьшения затрат на запуски. Руководители Роскосмоса сделали аналогичное объявление только в 2016 году. В этом же году SpaceX организовала более 30 процентов мировых коммерческих запусков.

Итоги 2017 года показали, что доля организации на мировом коммерческом рынке запусков ракет в космос дошла до 45 процентов. В мае организация SpaceX в первый раз организовала для военных космические запуски: Falcon 9 транспортировал на земную орбиту спутник американского Национального разведывательного управления, и уже осенью таким же образом был транспортирован экспериментальный орбитальный самолет Boeing X-37, принадлежащий военно-воздушным силам Соединенных Штатов Америки. Первый коммерческий запуск Falcon Heavy произошел в апреле 2018 года. Ракета успешно подняла саудовский спутник связи на околоземную орбиту, каждая из частей первой ступени благополучно вернулась на Землю. Организация Илона Маска провела половину мировых коммерческих запусков в 2018 году благодаря тому, что конкуренты организации не сумели качественно снизить стоимость своих услуг.

SpaceX планирует в ближайшие годы с помощью спутников реализовать глобальный спутниковый интернет Starlink. Компания Google инвестировала в него 1 миллиард долларов – такую же сумму внесла Fidelity – американская инвестиционная компания. Полноценное покрытие Земли планируется к 2024 году, к этому же году компания SpaceX собирается отправить на Марс корабли с грузами и персоналом для начала освоения красной планеты. Компания Илона Маска стала первой частной космической компанией, осуществившей первый орбитальный полет экипажа на частном космическом корабле к МКС.

На данный момент компания SpaceX оценивается в \$30 млрд с общим объемом инвестиций \$2,4 млрд и входит в рейтинг самых дорогих стартапов мира. В компании работают более шести тысяч сотрудников, а общее количество запусков космических аппаратов превысило сотню, включая испытательные запуски. Выполнено коммерческих контрактов на сумму более \$12 млрд. SpaceX имеет контракты как с государственными организациями, например, NASA, так и с частными компаниями-гигантами.

Рассмотрим компанию Boeing, второго победителя программы по развитию Commercial Crew Development – частных космических пилотируемых кораблей.

NASA предоставило компании Боинг грант на конструирование космического аппарата величиной в 18 млн. долларов в начале 2010 года. Были поставлены глобальные задачи: по условиям заключенного в 2014 году контракта, кабины всех кораблей необходимо разработать с учетом вмещения не менее 4 человек экипажа и ста килограмм грузов. Вместе с тем, нужно обеспечить аппарату возможность в течение двухсот десяти дней сохранять стыковку со станцией, что обеспечит беспроблемную транспортировку космонавтов и астронавтов на станцию и назад на планету, а при возникновении такой необходимости – незамедлительную эвакуацию экипажа. Но, несмотря на сложность поставленных задач, в августе 2016 года стартовала сборка корабля. Предполагалось, что в 2018 году будут произведены все запуски. NASA санкционировало продление второй, испытательной, пилотируемой миссии корабля Starliner в апреле 2019 года. Длительность миссии по новому плану составит несколько месяцев, а не дней, как было задумано первоначально. Продление миссии аргументируется потребностью обеспечивать непрерывное присутствие американских астронавтов на борту Международной Космической Станции на случай затруднений и замедлений в конструировании и запусках частных кораблей, когда не будет возможности приобрести места для космонавтов на кораблях «Союз», созданных в России.

На сегодняшний день Boeing является крупнейшей авиакосмической фирмой в США, крупнейшим экспортёром и одним из крупнейших работодателей США. На 2015 год число трудоустроенных составило 165500 человек. Корпорация входит в двенадцать крупнейших

промышленных корпораций страны и «большую тройку» изготовителей вооружения и военной техники ведущих подрядчиков военно-промышленного комплекса США по ежегодному объёму заказов. Около половины доходов от продаж продукции и предоставляемых услуг составляет федеральный клиентский сектор обслуживания военных заказов. Деятельность компании в сегменте военно-промышленного комплекса варьируется от выпуска вооружения и военной техники до ядерных испытаний включительно. Но, несмотря на все вышеперечисленные масштабные регалии, понимая, что сотрудничество окажется взаимовыгодным, Боинг наравне с SpaceX и другими частными компаниями соревнуется в гонке за финансирование федерального ведомства NASA для освоения космического пространства.

В российской космонавтике частным аэрокосмическим бюро уделяется внимания меньше, чем на Западе. Российская Федерация может вскоре потерять позицию монополиста по транспортировке космонавтов к Международной Космической Станции, так как заказчики из западных стран покупают прославленные отечественные двигатели РД-180 гораздо реже по данным из отчётов организации.

Данное положение дел может измениться в ближайшие несколько лет. В конце марта 2021 года центр имени Хруничева приступил к серийному производству первых четырёх ракет-носителей тяжёлого класса «Ангара-А5», заказанных Министерством обороны. Финансирование договоров «осуществляется в рамках выполнения государственного контракта от 21 мая 2020 года на изготовление ракет-носителей «Ангара-А5» для нужд Минобороны», — сообщается на сайте госзакупок. По словам генерального директора Центра имени Хруничева Алексея Варочко, ракеты поставят военным в 2022—2024 годы. 2020 год стал знаковым для этой ракеты. 14 декабря носитель впервые запустили после длительного перерыва: самый первый старт провели в 2014 году. Третий запуск «Ангара-А5» могут выполнить в 2021-м, четвертый – в 2022 году. Все они будут элементами лётно-конструкторских испытаний. В 2023-м ракету хотят использовать для лётно-конструкторских испытаний космического корабля нового поколения, известного как «Орёл» (ранее – «Федерация»). В середине десятилетия «Ангара-А5» повышенной грузоподъёмности должна запустить космический корабль с экипажем на борту.

Изготовление ракеты «Протон» может быть прекращено «Роскосмосом», а этот гражданский продукт был наиболее прибыльным и достаточно долго сохранял конкурентоспособность на мировом рынке. Благодаря российским ракетам, всемирный коммерческий рынок запуска спутников сохранял низкую стоимость, однако, разработка рассмотренной выше Falcon 9 от SpaceX на данный момент позволяет проводить более дешёвые запуски, активно вытесняя российские ракеты с рынка. Фактически, отказываясь от «Протона», Роскосмос может утратить для российских космонавтов доступ к геостационарной орбите на 3 – 4 года до того момента, пока «Ангара» не будет полностью введена в строй. Не являются ли данные обстоятельства неким стартом развития коммерческой космонавтики в России?

Организация «КосмоКурс» занимается разработкой пригодного к многократному использованию суборбитального корабля, который рассчитан на космический туризм. Этот корабль может принять на борт 6 туристов, позволив им провести в космосе четверть часа, взлетев примерно на 180 километров над планетой – это высота орбиты, на которой Юрий Гагарин в первый раз облетел вокруг Земли. На 2023 год запланирован первый экспериментальный полёт, а первый корабль с пассажирами должен вылететь уже 2025 году. «КосмоКурс» не планирует повторять опыт известных американских коммерческих организаций, изобретая и изготавливая все детали корабля при помощи своих ресурсов. «КосмоКурс» функционирует как конструкторское бюро, которое объединяет почти 30 аэрокосмических предприятий в России, которые обладают возможностью для производства всех необходимых составляющих для планируемой ракеты. Впервые в истории нашей страны в 2016 году тактико-техническое задание этой фирмы было согласовано с «Роскосмосом», а в середине 2017 года выдана лицензия на реализацию космической деятельности. Первоначально «КосмоКурс» рассчитывал выбрать «Байконур» в качестве стартовой платформы, однако в первые месяцы 2018 года организация приступила к постройке собственного космодрома. Власти Нижегородской области и

«КосмоКурс» пришли к решению построить коммерческий космодром. Периодически возникающие трудности, например, сохраняющаяся необходимость добиться одобрения программы от «Роскосмоса» и привлечь от инвесторов на строительство почти 2,5 миллиарда рублей, само наличие подобного государственно-частного партнёрства и сооружение первого коммерческого космодрома в России – вестники новой эпохи.

S7 Space стала первой в Российской Федерации коммерческой компанией, предоставляющей полный цикл услуг по запускам космических аппаратов с использованием ракет-носителей «Зенит». На данный момент возможности организации сильно уменьшены нежеланием «Роскосмосом» продавать составляющие для российско-украинского «Зенита». Также организация анализирует возможность проектировки новой, способной к конкуренции ракеты «Союз-5SL», разработку, которой организация согласна финансировать собственными средствами. S7 Space успешно запустила в 2017 году ракету с космодрома «Байконура», однако, спутник, который вывели на околоземную орбиту, вскоре признали дефектным. В дальнейших планах организации намечены 4 запуска в 2021 и 2022 годах.

Российская компания «Лин индастриал» производит конструирование нового класса сверхлёгких ракет-носителей. Некоторое время компания занимается разработкой корабля «Таймыр», своеобразного такси, представляющего собой чрезвычайно популярные микро- и наноспутники способное обеспечить доставку космического аппарата и других грузов с полезной нагрузкой от десяти до ста восьмидесяти килограммов на нужную орбиту. Лин индастриал смогли привлечь инвестиций на 22 миллиона 500 тысяч рублей, 75,6% из которых были профинансированы частными лицами, 22,2% от данной суммы составил минигрант Сколково, остальную часть составили пожертвования. Совокупная стоимость реализации проекта составила 8,5 миллионов долларов. В 2021 году планировалось осуществить первый запуск космического корабля «Таймыр», однако, по причине недостатка стратегических инвесторов и после безуспешной апробации двигателя в 2016 году организации пришлось сильно сдвинуть сроки.

До наступления 2017 года самой эффективной коммерческой космической организацией по производству космических спутников в России являлась Daugia Aerospace, которая разрабатывает и производит небольшие космические корабли новейшего поколения. В производстве Daugia Aerospace использует электронные составляющие промышленного класса, тестируя и подготавливая их к использованию в условиях открытого космоса. Такой подход помогает качественно уменьшить стоимость продукции, увеличить скорость конструирования и дальнейшего производства, значительно упрощает проведение усовершенствования аппаратов последующих поколений. Компания выполняла заказы по производству спутников для международных покупателей общей стоимостью более 300 миллионов долларов. Но в 2015 году условия сложившейся в экономике и внешней политике ситуации подтолкнули к завершению заграничного представительства, а следующие друг за другом разбирательства в суде с «Роскосмосом» заставили Daugia Aerospace почти полностью завершить свою деятельность.

Частная организация «Спутниковые инновационные космические системы» или «Спутникс» тоже занимается производством спутников. Эта компания считается резидентом космического сектора «Сколково» с 2012 года. 29,5 млн. рублей принес выделенный фондом грант на разработку подсистем, предназначенных для новых усовершенствованных спутников. Микроспутник «ТаблетСат-Аврора» был также спроектирован сотрудниками компании «Спутникс». Принято считать, что «ТаблетСат-Аврора» – это впервые сконструированный и построенный коммерческой компанией из России спутник.

Выводы. Из проведённого анализа сотрудничества частных компаний с государственными организациями США заключим, что такое спонсорство является абсолютно взаимовыгодным как для государственных ведомств, так и для частных космических компаний. Делегируя разработки инновационной технической составляющей аэрокосмической отрасли страны для освоения космоса и спонсируя частные компании с помощью грантовых программ, контрактов сотрудничества и др., государственные ведомства могут эволюционировать из исполнителя в управляющего космических проектов.

Быстрое развитие технологий, инновации при финансировании способны полностью изменить ситуацию в освоении космического пространства. На своём опыте это показала компания SpaceX. Ограниченное финансирование стимулирует находить новые, технологичные, при этом более дешёвые, способы разработки и конструирования новых аэрокосмических аппаратов. Это в свою очередь полностью меняет рынок космических пусков. Все ведущие компании вынуждены регулировать ценообразование, когда на рынке появляется серьёзный конкурент, способный выполнять ту же самую работу за гораздо меньшую сумму. Прогрессивная, революционная работа SpaceX заставила крупнейших изобретателей ракет-носителей, не исключая американскую организацию United Launch Alliance, российскую «Роскосмос», японскую Mitsubishi Heavy Industries и европейскую Arianespace сделать объявления об основательных изменениях своей структуры для достижения 50-процентного уменьшения затрат на запуски. Такое гармоничное сотрудничество с частными космическими организациями позволило США стать лидером космической гонки, позволило ставить амбициозные цели, в частности по освоению внеземных ресурсов.

В настоящее время в России фактически все бремя по продвижению и развитию космических проектов лежит на государстве, однако для полноценного развития частно-государственного партнерства необходимо собрать административные ресурсы, частное финансирование, научно-технические возможности, квалифицированные кадры, тем самым создать условия для возвращения статуса лидирующей в освоении космоса страны.

Библиографический список

1. *Godwin C.* Commercial Crew – It was never about saving money // Spacwflight Insider. 2016. 1 November. URL: <http://www.spaceflightinsider.com/editorial/opinion-commercial-crew-it-was-never-about-savingmoney-oped/> (дата обращения: 17.13.2011).
2. NASA Office of the Chief Technologist Emerging Space, 2014. // URL: https://brycetek.com/reports/report-documents/Emerging_Space.pdf (дата обращения: 15.03.2021).
3. *The United Nations Office for Outer Space Affairs (UNOOSA)* Special report of the Inter-Agency Meeting on Outer Space Activities on partnerships in the use and applications of space science and technology within the United Nations system» // URL: http://www.unoosa.org/oosa/oosadoc/data/documents/2019/aac.105/aac.1051200_0.html (дата обращения: 18.03.2021).
4. *Азаренко Л. Г.* Космические услуги. Экономика и управление. М.: Инфра-инженерия, 2018, С. 24 – 241.
5. *Кравченко Д. Б., Бауров А. Ю.* Государственно-частное партнерство в сфере космической деятельности в период структурной реформы отрасли // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Экономические науки. 2016. №3(245). С. 48 – 58.
6. *Пайсон Д. Б.* Феномен компании SpaceX как вызов международному космическому рынку // Исследования космоса. 2016. №1. С. 36-50. URL: http://e-notabene.ru/ik/article_20451.html (дата обращения: 17.13.2021).
7. Презентация проекта Сверхлегкая ракета-носитель «Таймыр» («ЛАРОС – PH2»). URL: <https://spacelin.ru/osnovnyye-proekty/raketa-nositel-taumur/> (дата обращения: 21.03.2021)
8. *Сафронов М. В.* Инструменты управления рисками космических проектов. Красноярск: Сибирский государственный университет науки и технологий имени М.Ф. Решетнева, 2019.
9. Статья Scopus International Journal of Aerospace Engineering. Годы охвата Scopus: с 2011 по настоящий момент. Издатель: Hindawi. ISSN:1687-5966E-ISSN:1687-5974. URL: <https://www.scopus.com/sourceid/19900191986> (дата обращения: 16.03.2021).
10. *Цисарский А. Д.* Разработка механизмов и инструментария проектного менеджмента при создании ракетно-космической техники. М: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2017.

**МЕТОДИКА ОЦЕНКИ РИСКОВ ИНФОРМАЦИОННОЙ
БЕЗОПАСНОСТИ КРУПНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРЕДПРИЯТИЙ**

Д. С. Щепланова

Балтийский государственный технический университет «Военмех» им. Д. Ф. Устинова

Актуальность. В условиях развития цифровизации сложно представить основные бизнес-процессы предприятия без использования автоматизированных средств обработки информации. Ежегодно размер данных увеличивается, уровень технических средств повышается, а кибератаки становятся все изощреннее, следовательно информация играет очень важную роль в деятельности любой организации, как ценный ресурс и инструмент, обеспечивающий высокую конкурентоспособность. Более того, перевод большей части информации в электронную форму, использование локальных и глобальных вычислительных сетей также порождают качественно новые угрозы конфиденциальной информации. Поэтому особо актуальным для технологических предприятий становится использование системы риск-менеджмента информационной безопасности для создания надежной и безопасной среды для ведения своей деятельности.

Однако, наличие большого числа исследований, а также стандартов обеспечения информационной безопасности не позволяют осуществлять эффективную идентификацию и оценку рисков информационной безопасности в практике конкретной организации вследствие отсутствия рабочей методики, позволяющей с высокой степенью достоверности определять значимые риски. Предлагаемые в научной литературе методики являются обширными, международные и национальные стандарты представляют достаточно исчерпывающий выбор методов по этому вопросу, но их использование затруднено в условиях малого объема данных, а также небольшого числа пользователей. Поэтому научный и практический интерес представляет разработка и апробация методики формализации рисков информационной безопасности для конкретной компании в современных условиях.

Под риском информационной безопасности (далее – ИБ) понимается допустимость возникновения неблагоприятных исхода в результате некой неопределенности условий осуществления деятельности. Другими словами, это вероятность того, что определенная угроза может воспользоваться уязвимым местом актива, в результате которого организация понесет тот или иной ущерб. Следовательно, согласно ГОСТ Р ИСО/МЭК 27005-2010. Информационная технология. Методы и средства обеспечения безопасности. Менеджмент риска информационной безопасности «Система управление рисками информационной безопасности» — это связанные и структурированные между собой действия по процессу управления рисками и контролю организации в отношении рисков информационной безопасности [1]. В рамках этой системы идентифицируют способы достижения поставленных целей, анализируют последствия и вероятности возникновения опасных событий для принятия решения о необходимости обработки риска.

Гипотеза исследования. Влияние рисков информационной безопасности для крупных предприятий позволяют сформулировать гипотезу исследования о том, что если компания своевременно не идентифицирует инцидент и не среагирует на него, то на карту оперативной деятельности компании поставлены в первую очередь не только целостность, доступность и конфиденциальность информации, а финансы, репутация и имидж компании, которого она может лишиться, что в свою очередь приводит к необходимости формирования единой стратегии оценки рисков информационной безопасности.

Для исследования было выбрано Акционерное общество - крупнейший производитель в сфере пищевой промышленности в России. Отличительной чертой исследуемого предприятия является большой объем информационных поток, обеспечивающий непрерывность функционирования ключевых бизнес-процессов на основе автоматизированных систем управления, его чувствительности к безопасности и безошибочной работе всего аппаратно-программного

комплекса. Данная ситуация обязывает руководителей предприятия создать и совершенствовать систему информационной безопасности.

Поскольку процесс оценки рисков является трудоемким, то было принято решение разделить его в соответствии с ГОСТ Р ИСО/МЭК 31010-2011 на несколько этапов: идентификация рисков, оценка рисков [2]. Оценку рисков на начальном этапе управления рисками оптимально производить методом экспертных оценок. А для определения значимых рисков в деятельности компании эффективно построить матрицу рисков. Построение границы толерантности к рискам в матрице рисков автором предлагается строить в зависимости от мнения экспертов, применяя экспоненциальное сглаживание.

Для анализа рисков ИБ также важно определять такие характеристики, как ценность информационных ресурсов, потенциальные уязвимости и угрозы [3].

На этапе идентификации рисков были определены факторы возникновения рисков. Для этого была исследована внутренняя и внешняя среда организации, с целью определения ее сильных и слабых сторон.

На втором этапе была проведена оценка рисков. Как правило, перед этим формировалась комиссия экспертов, которая устанавливала оценку идентифицированных рисков. Для исследуемого предприятия создавалась одна комиссия экспертов, в состав рабочей группы, которые вошли следующие руководители: коммерческого, маркетингового, IT-отдела и отдела продаж. Формирование одной комиссии обусловлено тем, что рассматриваемые риски затрагивают одну среду бизнес-процесса. Необходимо отметить, что в зависимости от вида, масштаба организации и объема анализируемой информации, в каждой компании индивидуально, по усмотрению руководства создается одна или несколько групп экспертов, состав рабочей группы, который рекомендуется формировать из 6 – 10 человек, имеющих нужный опыт и квалификацию в проводимой оценке области [4].

Рейтинг эксперта был определен по следующим показателям:

- опыт работы в области экспертизы;
- наличие сертификатов в области экспертизы, удостоверений окончания курсов повышения квалификации или профессиональной переподготовки в области экспертизы;
- направление базовой подготовки;
- наличие научных публикаций в области экспертизы;
- наличие ученой степени и (или) ученого звания по направлению, соответствующему области экспертизы;
- уровень доверия мнению эксперта руководством организации.

Расчет дисперсии и среднеквадратического отклонения мнений экспертов по формуле 1 позволило определить меру согласованности мнений экспертов [4].

$$\frac{\sum_{i=1}^N (r_{ij} - R_j)^2}{N} \text{ и } \sigma = \sqrt{D} \quad (1)$$

где D_j – дисперсия мнений экспертов по оценке j -го риска; σ – среднеквадратическое отклонение мнений экспертов.

Мнение экспертов считается согласованным по оценке j -го риска, когда R_j находится в пределах $[-\sigma; +\sigma]$. Результатом расчета являлось единогласное мнение экспертов по оценке рисков.

Важным моментом оценки рисков значилось проведение расчета индекса или ранга риска для нахождения уровня рисков и построения карты рисков. Под индексом риска подразумевается количественная оценка уровня влияния риска, описывающая степень его оптимальности для организации. Он рассчитывался по формуле 2 [там же]:

$$I_r = P \cdot I, \quad (2)$$

где I_r – индекс риска; P – вероятность возникновения риска; I – ожидаемая величина потерь от влияния риска.

Обычно, вероятность возникновения риска выражают в процентах или десятичных дробях, а ожидаемую величину потерь от влияния риска в денежных единицах. Такая оценка способствует не только классифицировать риски по вероятности их возникновения, но и присвоить им балльную оценку. В конечном итоге, каждым экспертом была произведена оценка по следующим классификациям рисков, представленные в таблице 1:

Таблица 1
Классификация рисков ИБ по пятибалльной шкале

Качественная оценка риска ИБ					
По вероятности возникновения	0 < P ≤ 0,1	0,1 < P ≤ 0,4	0,4 < P ≤ 0,6	0,6 < P ≤ 0,9	0,9 < P ≤ 1,0
	слабовероятный	маловероятный	вероятный	весьма вероятный	возможный
	1 балл	2 балла	3 балла	4 балла	5 баллов
По индексу риска (степень воздействия)	1 ≤ Iг < 5	5 ≤ Iг < 9	9 ≤ Iг < 12	12 ≤ Iг < 20	20 ≤ Iг ≤ 25
	Игнорируемые	Незначительные	Умеренные	Существенные	Критические или непереносимые
	1 балл	2 балла	3 балла	4 балла	5 баллов
По величине потерь (в процентах от плановой прибыли)	0 ≤ I < 10	10 ≤ I < 40	40 ≤ I < 60	60 ≤ I < 90	90 ≤ I ≤ 100
	Минимальные	Низкие	Средние	Высокие	Максимальные
	1 балл	2 балла	3 балла	4 балла	5 баллов

Дальше проводилась оценка R_j идентифицированных рисков по формуле средней взвешенной 3, так как она позволяет наиболее объективно оценить риски.

$$R_j = \frac{\sum_{i=1}^N \beta_i I_{rij}}{N}, j=1, 2, \dots, k, \quad (3)$$

где R_j – оценка j-го риска; I_{rij} – индекс j-го риска, присвоенный i-м экспертом; k – число выявленных рабочей группой рисков; β_i – рейтинг i-го эксперта.

Кроме того, при рассмотрении рисков ИБ было важным уделить особое внимание определению ценности информационных ресурсов, оценки уязвимостей и угроз. Для этого было необходимо идентифицировать риски ИБ в отдельную сводную таблицу, в которой были отражены ценные информационные ресурсы по таким свойствам, как целостность, доступность и конфиденциальность. Такой анализ позволил определить, насколько информационные активы являются ценными для организации и в дальнейшем зависимости от этого устанавливались ожидаемый ущерб и предполагаемые потери в случае реализации риска.

Выявленные риски в результате комплексной оценки были занесены в сводную таблицу рисков (таблица 2).

Таблица 2
Идентифицированные риски организации

№ п/п	Идентификационный номер риска	Наименование риска	Фактор риска	Причины возникновения
1	2	3	4	5
2				
...				
n				

На третьем этапе исходя из экспертных оценок выстраивалась матрица рисков, на которой была визуализирована вероятность их возникновения и степень влияния на деятельность пред-

приятия. На основе построенной матрицы, принималось решение об отборе наиболее значимых видов риска ИБ и определения того, какие риски приемлемы по вероятности возникновения (Y) и ущербу (Y) для компании в текущем периоде в соответствии с матрицей. Для простоты понимания рекомендуется строить матрицу размером 5×5 (рис. 1). В качестве границы толерантности к рискам была построена экспоненциальная кривая. Граница толерантности определяется в каждой организации индивидуально по согласованию с руководителем.

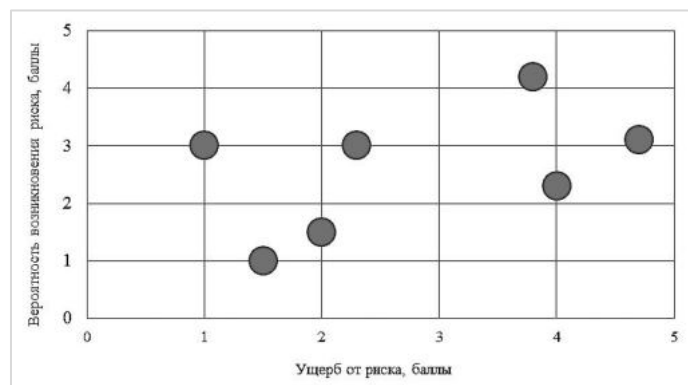


Рис. 1. Сравнительный анализ рисков методом построения матрицы рисков

На четвертом этапе определялись консолидированные меры по снижению риска. Комиссия экспертов открывала дискуссию, в ходе которой специалисты высказывали свое мнение относительно серьезных факторов риска и определяли, с какими рисками ей следовало немедленно работать. В результате проведения мероприятий можно минимизировать вероятность риска, вероятность потерь или изменить последствия риска.

Выводы и обсуждения. В ходе исследования было рассмотрено практическое применение работоспособности предложенной автором методики оценки рисков в сфере информационной безопасности. На предприятиях пищевой промышленности для обеспечения ее эффективности, необходимо данную методику рассматривать как итеративную операцию, которая включает в себя идентификацию информационных рисков, обработку и принятие решения по управлению, а также комплексное использование мер для их снижения. Ключевым этапом методики являлась оценка рисков, на основе которого было предложено применение авторских классификационных таблиц, сформированных на основе информационных рисков, а также построение матрицы рисков, как удобного графического инструмента для выявления влияния каждого риска на хозяйственную деятельность предприятия.

Проведенный анализ показал, что преимуществом предложенной методики являлось следующее:

1. позволяет своевременно и оперативно определить степень влияния каждого риска ИБ на деятельность предприятия, и как следствие, определить наиболее значимые риски организации, в результате чего разрабатываются в дальнейшем рекомендации по их снижению. Риски оцениваются при помощи двух ключевых показателей: вероятности наступления и степени ущерба методом экспертных оценок;
2. позволяет получить количественную и качественную оценку при отсутствии статистических данных;
3. допускается привлечение работников, имеющих опыт в определенной должности и уровень компетентности в рассматриваемой области. Это помогает не только минимизировать вероятность возникновения имеющихся угроз, но и приподнять компетентность работников в вопросах как обеспечения защиты информации, так и другого;

4. наличие удобных классификационных таблиц для выявления и обработки существенных рисков организации.

Однако недостатком будет являться репрезентативность экспертных оценок в силу человеческого фактора каждого эксперта. Кроме того, высокая трудоемкость сбора различных данных в ходе процесса оценки рисков и вовлеченность большого числа экспертов требует значительных затрат. Поэтому в большей степени методика подходит для организации крупного бизнеса, у которых основная деятельность непрерывна связана с использованием информационных технологий, а также имеющих необходимые компетенции и ресурсы. Только в таком случае возможно грамотно управлять рисками ИБ с помощью использования предложенной автором методики, которая включает в себя оперативную интеграцию процессов по управлению рисками для получения ожидаемого синергического эффекта, позволяющий руководству компании в ходе реализации процесса оценки рисков информационной безопасности оптимизировать свои издержки.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что методику применять можно, но данная проблема актуальна и требует дальнейшего исследования применения методики для других организаций и изучения имеющихся проблем.

Научный руководитель – старший преподаватель Н. Л.Соловьева.

Библиографический список

1. ГОСТ Р ИСО/МЭК 31010-2011. Менеджмент риска. Методы оценки риска. Введен впервые. М.: Стандартинформ, 2012. 124 с. [Электронный ресурс]. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200090083> (дата обращения: 15.03.2021).

2. ГОСТ Р ИСО/МЭК 27005-2010. Информационная технология (ИТ). Методы и средства обеспечения безопасности. Менеджмент риска информационной безопасности. М.: Стандартинформ, 2010. . 124 с. [Электронный ресурс]. URL: <http://docs.cntd.ru/document/gost-r-iso-mek-27005-2010> (дата обращения: 16.03.2021).

3. Ильченко Л. М., Брагина Е. К., Егоров И. Э., Зайцев С. И. Расчет рисков информационной безопасности телекоммуникационного предприятия. Открытое образование. 2018; 22(2): с. 61 – 70. [Электронный ресурс]. URL: <https://doi.org/10.21686/1818-4243-2018-2-61-70> (дата обращения: 21.03.2021).

4. Соловьева Н. Л. Риск-менеджмент в инновационной деятельности предприятия: учебное пособие. СПб: БГТУ «Военмех», 2016. 169 с. (дата обращения: 23.03.2021).

УДК 658.8

СТРАТЕГИЯ УПРАВЛЕНИЯ СБЫТОМ

И. С. Юркова

Балтийский государственный технический университет «Военмех» им. Д. Ф. Устинова

Любое предприятие, которое начинает производство, в качестве главной своей цели ставит получение прибыли. Получение прибыли является основой успешного развития и функционирования предприятия. Прибыль предприятия рассчитывается в соответствии с доходами и расходами, доходы фирмы на прямую связаны с организацией корректной стратегии управления сбытом, так как даже самая качественная и лучшая продукция должна быть грамотно реализована на максимально выгодных для предприятия условиях.

Ключевым моментом реализации производимых товаров, является тот этап, когда производимый товар или оказываемая услуга имеет спрос на потребительском рынке и удовлетворяет потребности клиентов, благодаря чему последние приобретают данный товар или услугу и приносят прибыль.

Современная экономика развивается достаточно динамично, и современным предприятиям необходимо за короткое время адаптироваться к быстро изменяющимся внешним условиям. Динамичное развитие экономики также связано с перенасыщением рынков товарами, и производителям буквально необходимо бороться за покупателей, что возвышает важность сбытовой стратегии предприятия. Сейчас в период коронавирусного кризиса большинство предприятий, как на рынке B2C, так и на рынке B2B столкнулись как со снижением спроса на свою продукцию, так и с изменением форм реализации продукции. Из-за ограничений, вводимых правительственными органами, режима дистанцирования многие покупатели избегают посещать магазины и торговые центры. В этих условиях на рынке потребительских товаров выживают и процветают те компании, которые смогли перевести большую часть реализации продукции онлайн. На рынках реализации продукции промышленного назначения фирмы сталкиваются с тем, что их контрагенты перешли, в основном, на удалённую занятость [1]. Поэтому, чем лучше предприятие будет использовать цифровые технологии для управления сбыта, тем более успешным оно будет.

Важным фактором для успешной реализации производимых товаров или оказываемых услуг является их конкурентоспособность. С целью создания, поддержания и увеличения конкурентоспособности и спроса на производимый товар или оказываемую услугу необходимо осуществлять множество управленческих и маркетинговых решений.

Маркетинговые решения принимаются в рамках маркетинговой политики, она является действенным инструментом регулирования коммерческой деятельности организации.

Маркетинг в его прикладном понимании – это управление производственно-сбытовой деятельностью компании, направленное на достижение стратегических целей предприятия с помощью учета и активного влияния на рыночные условия и процессы ([4], с. 9).

Маркетинговая политика на промышленных предприятиях имеет ряд особенностей по сравнению с маркетинговой политикой на потребительском рынке, где потребителями являются люди. Как наиболее важные особенности, которые влияют на выбор методов управления маркетингом, можно отметить:

1. меньшее число потребителей на промышленном рынке по сравнению с потребительским рынком;
2. географическая концентрация потребителей;
3. вторичность спроса;
4. неэластичность спроса на товары промышленного назначения.

В маркетинговой политике предприятий работающих на промышленном рынке можно выделить четыре основных компонента, это товарная политика, политика ценообразования, сбытовая политика и коммуникационная политика.

Товарная политика предприятия является главным звеном маркетинговой детальности предприятия, так как сам товар, производимый продукт предприятия, является основой и результатом работы предприятия. Именно качество, ассортимент, особенности производства определяют уровень конкурентоспособности предприятия на рынке и степень достижения основной цели предприятия, такой, как получение прибыли.

Следовательно, товарная политика – это совокупность решений методов и инструментов управления, направленных на улучшение экономических показателей предприятия путем формирования конкурентных преимуществ товара, которые позволяют сделать его необходимым и ценным для потребителя.

Следующим звеном маркетинговой деятельности предприятия является политика ценообразования. Рационально организованная политика ценообразования влияет на самый важный фактор, определяющий успешность работы предприятия, такой как спрос на продукцию.

Цена на продукцию является тем самым орудием способным повлиять на конечное решение потребителя о приобретении товара, так как регулируя величину стоимости производимых товаров можно достигать поставленных целей предприятия.

Под ценовой политикой понимают совокупность мероприятий, принципов и методов, которые направлены на определение оптимальной цены на производимый товар, а также достижения стратегических целей предприятия.

Коммуникационная политика является еще одним звеном маркетинговой деятельности предприятия. Политика коммуникаций направлена на распространение информации о товаре среди потребителей, его конкурентных преимуществ и исключительного качества, то есть его рекламу. Применение методов и приемов распространения информации о продукте оказывает влияние на спрос, что в свою очередь оказывает воздействие на сбыт продукции.

Последним звеном маркетинговой политики является сбытовая политика. Мероприятия по реализации продукции (сбыт) связаны с каждым звеном маркетинговой политики и являются основной целью маркетинговой политики.

В современных экономических условиях сбытовая политика является необходимой в конкурентной среде и насыщенностью торговых рынков. Правильная сбытовая политика дает возможность предприятию поддерживать стабильный уровень продаж, вовремя удовлетворять потребности клиентов, а также продолжать развитие предприятия [2].

Под сбытом понимают деятельность компании по продвижению товаров и услуг от производителя к потребителю, то есть сбыт является замыкающим звеном в производственной цепочке: сырье и материалы – производство – сбыт.

Прежде всего, сбыт является логистической операцией, где охватываются взаимосвязанные сферы – продажа товаров и физическое передвижение продукции от места ее производства до пунктов непосредственной продажи и потребления, осуществляемое либо напрямую покупателям, либо посредникам [3].

Исходя из этого утверждения под стратегией сбыта или сбытовой политикой понимают порядок последовательных управленческих решений, действий и мероприятий по обеспечению доставки товаров от производителя к потребителям, также разработка путей перемещения товара через к покупателям во времени и пространстве и организация руководства над распространением товара. Именно в системе сбыта концентрируется результат всех предыдущих усилий предприятия.

Основная цель сбытовой политики – рассчитать и создать такую комплексную систему товародвижения, которая гарантирует доставку товара к точкам продаж в конкретное время и с лучшим уровнем предоставления услуг клиентам при приемлемых затратах организации. [3]

Одной из составляющей основной цели сбытовой политики удовлетворение потребностей потребителя, необходимо принимать во внимание и изучать мнение самого потребителя о конкурирующих продуктах проблемах и перспективах жизни и работы потребителей. Обладая этими званиями можно в полной мере удовлетворить запросы потребителей, следовательно, сбытовая политика является составной частью общей маркетинговой политики организации.

Сбыт продукции имеет важное значение для детальности предприятия, так как объем сбыта оказывает воздействие на главные показатели предприятия такие как величина доходов, прибыль, рентабельность. Значение этих показателей определяет, как жизнеспособность предприятия в целом, так и перспективы его развития, возможность совершенствовать технологии производства и материально техническое обеспечение. Таким образом процесс сбыта продукции отражает результат деятельности предприятия, направленный на расширение объемов деятельности и получение максимальной прибыли.

Стратегия сбыта продукции является завершающим звеном деятельности предприятия по созданию, производству и доведению товара до потребителя. Так как на этом этапе потребитель либо удовлетворен деятельностью предприятия и приобретет товар, либо все усилия предприятия напрасны. Таким образом, организация и управление сбытом на предприятии является основным элементом во взаимодействии между предприятием и потребителем.

В последнее время в мировых отношениях произошли резкие глобальные изменения, такие как пандемия COVID-19, что привело как к внешним, так и внутренним ограничениям в странах и затронуло деловые отношения и условия ведения бизнеса в целом. Принятые ограничения, с целью стабилизации обстановки и сдерживания темпов роста заболеваемости, были направлены на сокращение прямых контактов между людьми, снижение скоплений людей в общественных пространствах, что привело к необходимости поиска новых способов и методов коммуникации. Поэтому стало очевидно, что для возможности развития или хотя бы для сохранения прежних позиций на рынке предприятиям необходимо обратиться к использованию в своей деятельности современные технологии и инновации.

Все принятые меры и ограничения в основном повлияли на структуру и способы ведения бизнеса, так как часть сотрудников были вынуждены работать удаленно, а также заставили руководителей пересмотреть стратегию сбытовой политики предприятий. Менеджеры промышленных компаний были вынуждены заняться поиском новых способов и методик сбыта, в большей степени опираясь на современные цифровые технологии и инновации.

Каждый руководитель стремится найти самый простой и эффективный путь, способ усовершенствовать и оптимизировать бизнес процессы предприятия. Еще несколько лет назад поиски подобного решения требовали проведение многих масштабных маркетинговых исследований, которые были непосредственно связаны с большими затратами, сейчас современные технические возможности и технологии дают возможность регулярно работать над поиском и тестированием новых направлений развития бизнеса, продуктов и решений. Поэтому многие предприятия за последний год под давлением внешних факторов или в процессе реализации своего стратегического плана развития модернизируют и трансформируют процессы ведения своего бизнеса с помощью цифровых технологий.

Под цифровой трансформацией многие понимают лишь процессы автоматизации, но это нечто большее – это изменение бизнес-структуры и процессов деятельности организации, рынка или даже отрасли, современная концепция бизнес-мышления. Процесс цифровой трансформации актуален для любой сферы нашей жизни и является неотъемлемой ее частью [5].

Цель цифровой трансформации — создать обновленную бизнес-модель организации, способную эффективно работать и устойчиво развиваться в условиях современной цифровой экономики [6].

В рамках цифровой трансформации и развития экономики появилась новые требования к системе управления сбытом, если раньше в приоритете были стандартные проверенные методы и способы оптимизации сбыта, то за последнее время стали востребованы более гибкие способы, которые способны быстро реагировать как на внешние изменения, так и на изменения в потребностях клиентов. Ориентированность и изучение требований потребителей, а также улучшение отношений между потребителем и предприятием производителем является важным моментом в сбытовой стратегии предприятия.

История взаимодействия потребителя с компанией, все действия в процессе коммуникации, скорость решения возникающих сложностей в процессе и впечатления от взаимодействия в целом называется клиентским опытом. Изучение этого параметра помогает понять степень удовлетворённости потребителя от сотрудничества с предприятием, сокращение возможности получения потребителем негативного клиентского опыта со стороны компании улучшает впечатления потребителя от коммуникации с исполнителем, что приводит к увеличивает доходы за счет повторных покупок и рекомендаций.

Цифровые технологии помогают создавать инструменты быстрого анализа клиентского поведения, дают широкие возможности для персонализации продуктов и услуг, позволяют собирать и анализировать большой объем данных и быстро вносить коррективы в продукты и сервис.

Управление клиентским опытом позволит эффективно решать ряд задач:

- повысить лояльность потребителя к продукту или услуге;
- зарабатывать больше на клиентском сервисе;

- повысить качество повторных продаж и в целом LTV;
- снизить отток клиентов;
- привязать показатели эффективности к удовлетворенности клиентов;
- управлять параметрами клиентского опыта;
- углубить понимание потребностей клиента [6].

Роль информационных потоков и технологий в сфере сбытовой политики предприятия увеличивается. Рациональный подход к системе управления сбытом на предприятии, направленный на обобщенное управление и более быстрый и эффективный обмен информацией, приведет к повышению результативности сотрудничества между предприятием и потребителем, сократит неопределенность спроса, увеличит точность прогнозов и результативность принимаемых решений.

Зачастую компании выбирают не более одного направления для совершенствования digital-маркетинга: кто-то делает упор на рост за счет лучшего понимания клиентами увеличения точек контакта с ним; другие – за счет цифровизации и реинжиниринга внутренних процессов и повышения производительности персонала; третьи трансформируют бизнес-модели, создают инновационные продукты и сервисные надстройки и осваивают новые рынки [5].

На рис.1 представлены данные аналитического исследования на базе исследования российского рынка «Цифровая трансформация в России -2020» цифровых каналов, которые используют российские компании для улучшения, упрощения коммуникации с потребителями, что в свою очередь ведет к совершенствованию сбытовой политики и увеличению объемов сбыта.

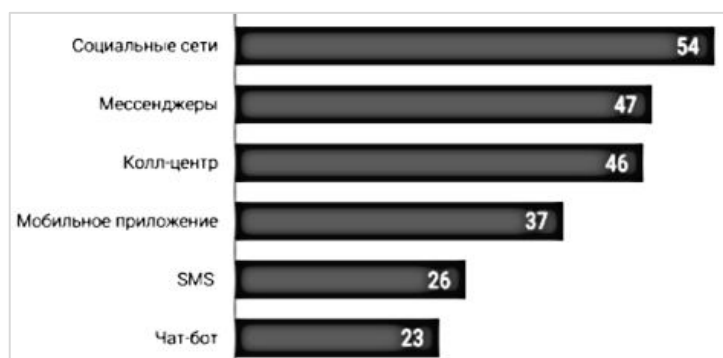


Рис.1. Цифровые каналы, которые используют российские компании, %.

По данным исследования видно, что основным цифровым каналом коммуникации является Веб-сайт. Разработка и оптимизация Веб-сайта организации является одним из основных инструментов стратегии управления сбытом. На сегодняшний момент большое количество людей пользуются интернет ресурсами для поиска информации о необходимом товаре или услуге. Создание совершенствование такого цифрового канала как интернет сайт позволяет сделать информацию о предприятии открытой и общедоступной что повышает степень доверия потребителей к компании. Также это помогает донести до потребителей информацию о товарах и услугах предприятия, способах их приобретения и доставке.

Использование электронной почты и мессенджеров упрощает коммуникацию между клиентом и исполнителем, сокращает затраты на подготовку сопровождающей документации, облегчает поиск несоответствий в документах и облегчает исправление ошибок, при этом экономя время.

В настоящее время многие предприятия также используют социальные сети в качестве инструмента продвижения своих товаров на рынке с целью увеличения объемов продаж. Использование социальных сетей является очень актуальным, так как сейчас практически каждый человек использует и проводит достаточно длительное время в соц. сетях. Опираясь на этот факт

многие предприниматели с целью повышения продаж создают в социальных сетях бизнес аккаунты с целью информирования потребителей о своем предприятии, продуктах и услугах.

Распространение информации о производимых товарах и услугах на оказывает влияние на уровень сбыта продукции, что в свою очередь является показателем результата деятельности предприятия в целом. В последнее время происходят постоянные изменения внешних условий, что заставляет предприятия искать новые пути управления сбытом. Цифровые технологии и новации помогают быстро реагировать на такие изменения, анализировать поведение потребителей, и совершенствовать сбытовую политику правления сбытом на предприятии.

Библиографический список

1. *Лукичёв П. М.* Рынок труда будущего. СПб: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2021, 48 с.
2. *Белюсова И. В. Нежинский А. Н.* Сбытовая политика промышленного предприятия // Ежемесячный международный научный журнал «INTERNATIONAL SCIENCE PROJECT». 2019. №30 (1 часть). С. 56 – 58.
3. *Суханова С. В.* Сбытовая политика в маркетинге // Глобальная экономика в XXI веке: роль биотехнологий и цифровых технологий. Сборник научных статей по итогам работы пятого круглого стола с международным участием. 2020. С. 118 – 119.
4. *Карпова С. В., Мхитарян С. В.* Маркетинг в отраслях и сферах деятельности. М.: Изд-во Юрайт, 2019. 404 с. // ЭБС Юрайт. [Электронный ресурс]. URL: <https://urait.ru/bcode/433737> (дата обращения: 21.03.2021).
5. *Болдырева Т. В.* Особенности сбытовой политики компании в период пандемии // Наука и общество. 2020. №2(37). С. 34 – 39.
6. Цифровая трансформация в России-2020. [Электронный ресурс]. Электрон. жур. М.: 2020. URL: https://komanda-a.pro/projects/dtr_2020 (дата обращения: 21.03.2021).

АВТОРЫ СБОРНИКА

Алексеева М. М.	266	Когаков С. И.	58
Амбросович С. Г.	269	Кондрашов Д. А.	210
Антонова Е. Ю.	169	Конзалаева Д. Д.	215
Арефьева Д. Б.	27	Коноплев Ю. В.	27
Арутюнян А. А.	19	Коротков Е. Б.	189
Астахов М. И.	9	Костин И. Д.	281
Байбосунов Д. Н.	203	Крылова М. А.	63, 284
Безуглый А. М.	23	Лаптинский А. И.	266
Белов Д. С.	47	Лесовых Н. С.	296
Беляков А. А.	256	Лихачев И. В.	289
Березина А. А.	27	Лобов В. А.	316
Березовский А. А.	272	Локачева Ю. А.	68
Бесогинов В. В.	260	Лукичев П. М.	305
Блашников В. В.	33	Лычагин М. С.	220
Богдановский И. А.	131	Максимов А. Г.	9
Бойко А. Ю.	225	Максимов Н. С.	73, 242
Брысина В. А.	34	Мартынов И. А.	19
Быков В. А.	175	Матахин Д. А.	222
Бычков К. А.	34	Матвеев Т. А.	77
Владимирова М. Я.	39	Машкина А. В.	225
Гатчин И. Ю.	196	Мешков С. А.	249, 251
Головко Л. В.	180	Мирославская М. В.	300
Гончаров В. О.	184	Митюшов А. И.	90
Горбуленко Е. А.	45	Мишина О. А.	34
Горбунова А. В.	182	Моторин А. А.	52
Горелов К. К.	47	Надежин М. И.	81, 184
Грагерт В. Д.	184, 189	Невольников Д. А.	169
Гришкевич И. О.	228	Новиков А. Ю.	87
Гущина В. И.	164	Новицкая Д. В.	228
Деккер А. А.	235	Носова М. А.	302
Демидов М. С.	262	Олейникова Ю. В.	90
Демидов С. М.	262	Оленичев П. А.	305
Денисенко А. И.	27	Падкин М. Б.	93
Дмитриев Д. К.	275	Пелевин Ф. М.	45, 95
Евстюгин А. И.	196	Перминов Д. О.	99
Желтышев О. И.	228	Петров А. А.	104
Жигулина Ю. В.	81	Петров А. В.	107
Жильцов Н. Н.	242	Полулях Е. Д.	111
Захаров А. Ю.	34	Попова К. Ю.	307
Захаров Д. Н.	228	Прокопьев А. И.	33, 107
Зинченко В. И.	189, 225	Радаев А. О.	311
Игнатова О. А.	291	Разуваева А. С.	114
Йосипенко А. В.	203	Ретюнская Н. П.	235
Камнев Е. О.	9	Рыжов М. В.	33, 107
Кедрова Е. И.	206	Светличный В. И.	95
Кейно П. П.	87	Сизова А. А.	262
Ким А. А.	39, 52, 114, 131	Синицын В. А.	68
Кириллов А. В.	278	Слободзян Н. С.	169, 184
Киселев А. А.	189	Смирнов И. А.	215

Соборницкая А. Н.	119	Фролова Е. О.	316
Спирин А. Е.	122	Царьков С. С.	322
Ступкин А. Д.	242	Чадаев В. С.	136
Судин А. П.	68	Чугреев А. В.	23
Суров М. Д.	129	Шаповалов Д. В.	249, 251
Терешенкова О. А.	131	Широбоков О. В.	81
Тимофеева В. И.	81	Широков И. С.	141
Толстая В. А.	275	Шмаков П. Ю.	73, 242
Труфанова А. Ю.	314	Шмелев Ю. А.	145
Тукуреев И. К.	239	Щебланова Д. С.	328
Фадеева Ю. В.	281	Юркова И. С.	332
Фролов М. С.	33	Ярыгин Д. М.	152, 160

МОЛОДЕЖЬ. ТЕХНИКА. КОСМОС

Труды тринадцатой общероссийской молодежной научно-технической конференции

Том 2

Материалы опубликованы в авторской редакции

Подписано к печати 18.08.2021. Формат бумаги 60×84 1/8.
Бумага офсетная. Усл.-печ. л. 44,3. Тираж 150 экз. Заказ №
Балтийский государственный технический университет «Военмех»

Типография ООО «Сан-Принт»
С.-Петербург, ул. Черняховского д. 24А