

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
МЕЖДУНАРОДНАЯ АКАДЕМИЯ ИНФОРМАТИЗАЦИИ
СОЮЗ МАШИНОСТРОИТЕЛЕЙ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
МИНИСТЕРСТВО ПРОМЫШЛЕННОСТИ, ИННОВАЦИОННЫХ
И ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ РЯЗАНСКОЙ ОБЛАСТИ
РЯЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ РАДИОТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ В.Ф. УТКИНА

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В НАУКЕ И ОБРАЗОВАНИИ

СТНО-2021

IV МЕЖДУНАРОДНЫЙ НАУЧНО- ТЕХНИЧЕСКИЙ ФОРУМ

Сборник трудов

Том 3

Рязань
Book Jet
2021

УДК 004 + 001.1 + 681.2+ 681.2+ 681.3+681.5
С 568

Современные технологии в науке и образовании – СТНО-2021 [текст]: сб. тр. IV междунар. науч.-техн. форума: в 10 т. Т.3./ под общ. ред. О.В. Миловзорова. – Рязань: Рязан. гос. радиотехн. ун-т, 2021; Рязань. –198 с.,: ил.

Сборник включает труды участников IV Международного научно-технического форума «Современные технологии в науке и образовании» СТНО-2021.

В сборнике освещаются вопросы математического моделирования, новых технологий в радиотехнике, телекоммуникациях, электротехнике и радиоэлектронике, вопросы полупроводниковой наноэлектроники, приборостроения, лазерной, микроволновой техники, силовой промышленной электроники, новые технологии в измерительной технике и системах, биомедицинских системах, алгоритмическое и программное обеспечение вычислительной техники, вычислительных сетей и комплексов, вопросы систем автоматизированного проектирования, обработки изображений и управления в технических системах, перспективные технологии в машиностроительном и нефтехимическом производствах, новые технологии и методики в высшем образовании, в т.ч. вопросы гуманитарной и физико-математической подготовки студентов, обучения их иностранным языкам, перспективные технологии электронного обучения, в том числе, дистанционного, вопросы экономики, управления предприятиями и персоналом, менеджмента, а также вопросы гуманитарной сферы.

Авторская позиция и стилистические особенности сохранены.

УДК 004 + 001.1 + 681.2+ 681.2+ 681.3+681.5

ISBN 978-5-7722-0301-9

© Рязанский государственный
радиотехнический университет, 2021
© Издательство «Book Jet»,
макет, 2021

ИНФОРМАЦИЯ О IV МЕЖДУНАРОДНОМ ФОРУМЕ «СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В НАУКЕ И ОБРАЗОВАНИИ» СТНО-2021

IV Международный научно-технический форум «Современные технологии в науке и образовании» СТНО-2021 состоялся 03.03.2021-05.03.2021 в г. Рязань в Рязанском государственном радиотехническом университете имени В.Ф. Уткина.

В рамках форума «Современные технологии в науке и образовании» СТНО-2021 состоялась работа четырех Международных научно-технических конференций:

«Современные технологии в науке и образовании. Радиотехника и электроника», секции

- Радиотехнические системы и устройства;
- Телекоммуникационные системы и устройства;
- Цифровые информационные технологии реального времени;
- Промышленная силовая электроника, электроэнергетика и электроснабжение;
- Физика полупроводников, микро- и нанoeлектроника;
- Микроволновая, оптическая и квантовая электроника;
- Актуальные задачи химических технологий;

«Современные технологии в науке и образовании. Вычислительная техника и автоматизированные системы», секции

- Алгоритмическое и программное обеспечение вычислительных систем и сетей;
- ЭВМ и системы;
- Системы автоматизированного проектирования;
- Информационные системы и защита информации;
- Математические методы в научных исследованиях;
- Обработка изображений и управление в технических системах;
- Геоинформационные и космические технологии;
- Автоматизация производственно-технологических процессов в приборо- и машиностроении;

- Информационно-измерительные устройства и системы в технике и медицине.

Стандартизация и управление качеством;

- Информационные системы и технологии;

«Современные технологии в науке и образовании. Экономика и управление», секции;

- Современные технологии государственного и муниципального управления;
- Экономика, менеджмент и организация производства;
- Бухгалтерский учет, анализ и аудит;
- Управление персоналом;
- Экономическая безопасность;

«Современные технологии в науке и образовании. Новые технологии и методы в высшем образовании», секции

- Современные технологии электронного обучения;
- Иностранный язык в техническом вузе;
- Лингвистика и межкультурная коммуникация;
- Направления и формы гуманитаризации высшего образования и гуманитарная

подготовка студентов;

- Методы преподавания и организация учебного процесса в вузе;
- Физико-математическая подготовка студентов;
- Особенности военного образования на современном этапе.

Организационный комитет Форума:

Чиркин М.В., ректор, д.ф.-м.н., проф. – председатель

Гусев С.И., проректор по научной работе и инновациям, д.т.н., проф. – зам. председателя;

Бабаян П.В., проректор по учебной работе и информатизации, к.т.н., доц. – зам. председателя;

Миловзоров О.В., зам. начальника управления организации научных исследований, к.т.н, доц. – координатор;

Устинова Л.С., начальник отдела информационного обеспечения – отв. за информационную поддержку;

Трубицына С.Г., вед. инженер – секретарь оргкомитета;

Благодарова И.А., ведущий программист – секретарь оргкомитета;

члены оргкомитета:

Авилкина С.В., начальник управления по воспитательной работе, к.п.н., доц.;

Алпатов Б.А., профессор кафедры автоматизации и информационных технологий в управлении, д.т.н., проф.;

Бухенский К.В., зав. кафедрой высшей математики, к.ф.-м.н., доц.;

Витязев В.В., зав. кафедрой телекоммуникаций и основ радиотехники, д.т.н., проф.;

Евдокимова Е.Н., зав. кафедрой экономики, менеджмента и организации производства, д.э.н., проф.;

Еремеев В.В., директор НИИ «Фотон», д.т.н., проф.;

Есенина Н.Е., зав. кафедрой иностранных языков, к.п.н., доц.;

Жулев В.И., зав. кафедрой информационно-измерительной и биомедицинской техники, д.т.н., проф.;

Кириллов С.Н., зав. кафедрой радиоуправления и связи, д.т.н., проф.;

Клейносова Н.П., директор центра дистанционного обучения, к.п.н., доц.;

Ключко В.К., профессор кафедры автоматизации и информационных технологий в управлении, д.т.н., проф.;

Коваленко В.В., зав. кафедрой химической технологии, к.т.н., доц.;

Корячко В.П., зав. кафедрой систем автоматизированного проектирования вычислительных средств, д.т.н., проф.;

Костров Б.В., зав. кафедрой электронных вычислительных машин, д.т.н., проф.;

Кошелев В.И., зав. кафедрой радиотехнических систем, д.т.н., проф.;

Круглов С.А., зав. кафедрой промышленной электроники, к.т.н., доц.;

Куприна О.Г., доцент кафедры иностранных языков, к.филол.н., доц.;

Литвинов В.Г., зав. кафедрой микро- и нанoeлектроники, д.ф.-м.н., проф.;

Лукьянова Г.С., доцент кафедры высшей математики, к.ф.-м.н., доц.;

Мусолин А.К., профессор кафедры автоматизации информационных и технологических процессов, д.т.н., проф.;

Овечкин Г.В., зав. кафедрой вычислительной и прикладной математики, д.т.н., проф.;

Паршин Ю.Н., зав. кафедрой радиотехнических устройств, д.т.н., проф.;

Перфильев С.В., зав. кафедрой государственного, муниципального и корпоративного управления, д.э.н., проф.;

Пржегорлинский В.Н., зав. кафедрой информационной безопасности, к.т.н., доц.;

Пылькин А.Н., профессор кафедры вычислительной и прикладной математики, д.т.н., проф.;

Рохлина Т.А., доцент кафедры иностранных языков, к.филол.н., доц.;

Серебряков А.Е., зам. зав. кафедрой электронных приборов, к.т.н.;

Соколов А.С., зав. кафедрой истории, философии и права, д.и.н.;

Таганов А.И., профессор кафедры космических технологий, д.т.н., проф.;

Харитонов А.Ю., нач. военного учебного центра, полковник, к.т.н., доц.;

Холопов С.И., декан ф-та автоматизации и информационных технологий в управлении, к.т.н., доц.;

Чеглакова С.Г., зав. кафедрой экономической безопасности, анализа и учета, д.э.н., проф..

МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ «СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В НАУКЕ И ОБРАЗОВАНИИ. РАДИОТЕХНИКА И ЭЛЕКТРОНИКА»

СЕКЦИЯ «ЦИФРОВЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ»

УДК 338.26; ГРНТИ 06.81.25

ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ АВТОТРАНСПОРТНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ: ЭЛЕКТРОННЫЙ ДОКУМЕНТООБОРОТ И RFID-СИСТЕМЫ

Д.С. Закревский

*Белорусский национальный технический университет,
Республика Беларусь, Минск, den.zakrevskiy@inbox.ru*

Аннотация. В статье рассмотрен процесс цифровизации автотранспортных предприятий в таких направлениях, как электронный документооборот и RFID-системы. Приводятся их характеристика, конкурентные преимущества при реализации в практическую деятельность транспортных организаций.

Ключевые слова: цифровизация, электронный документооборот, услуги транспорта, электронная цифровая подпись, электронный обмен данными, RFID-системы, ридер, RFID-метки.

DIGITAL TRANSFORMATION OF THE MOTOR TRANSPORT ENTERPRISE: ELECTRONIC DOCUMENT MANAGEMENT AND RFID-SYSTEMS

D.S. Zakrevsky

*Belarusian National Technical University,
Republic of Belarus, Minsk, den.zakrevskiy@inbox.ru*

The summary. The article considers the process of digitalization of motor transport enterprises in such areas as electronic document management and RFID-systems. Their characteristics and competitive advantages in the implementation of the practical activities of transport organizations are given.

Keywords: digitalization; electronic document management; transport services; electronic digital signature; electronic data exchange, RFID-systems, reader, RFID-tags.

Достигнутый научно-технический прогресс в XXI веке диктует условия для различных сфер деятельности: как для отдельных субъектов хозяйствования, так и для государства в целом. Одним из результатов научно-технического прогресса является повсеместное использование информационных (цифровых) технологий в организациях и экономике в целом. Так, в Республике Беларусь активно реализуется Декрет Президента № 8 «О развитии цифровой экономики» от 21 декабря 2017 года, в рамках которого предусматривается цифровое становление всех отраслей экономики, расширение зон использования (внедрения), а также разработка новых информационных, интеллектуальных и иных технологий в разрезе действия Государственной программы «Цифровое развитие Беларуси» на 2021–2025 годы.

Всё больше организаций в области оказания услуг транспорта присоединяются к различным нововведениям, связанным с процессом цифровизации. Одним из таких нововведений является электронный документооборот взамен использованию бумажных носителей при осуществлении деятельности.

Конкурентное преимущество предприятий на рынке транспортных услуг Республики Беларуси зависит от возможности и готовности компаний переходить на более быструю и удобную работу с документами, которые сопровождают процесс купли/продажи товара (услуги). Некоторая часть организаций до сих пор используют сканирование бумажных доку-

ментов и отправку их по факсу, что не имело бы смысла при электронном документообороте. Бумажная форма ведения документации повышает время на оформление транспортных документов и требует повышенных трудозатрат, что негативно сказывается на процессе перевозки, так как сокращение времени на оформление документации позволяет ускорить этот процесс [2, с.245].

Электронный документооборот представляет способ организации документооборота, при котором все документы или документы определенных классов в одной организации или в их совокупности (корпоративной системе) представлены в электронном виде и хранятся централизованно [4]. То есть, это движение документов в электронном виде с момента их получения или создания до завершения процесса перевозки. Кроме этого, такой документ по своей структуре идентичен бумажному, а единственным отличием является только формат и его передача в рамках организации или между организацией и органами государства при помощи сервиса автоматизации документооборота.

В транспортных компаниях такой процесс ведения документации получил широкое распространение в государствах-членах Европейского союза и некоторых стран СНГ. Поэтому его развитие в отечественных компаниях является перспективным направлением, как при осуществлении международных перевозок грузов и пассажиров, так и при внутриреспубликанских.

При оказании услуг транспорта к документам, представляющим возможность их использования в электронном виде, относятся электронные: товарно-транспортные накладные (в том числе и международные товарно-транспортные накладные e-CMR), товарные накладные, договоры, счета, акты выполненных работ и т.д. Этому способствует Постановление Совета Министров Республики Беларусь №940 «О функционировании механизма электронных накладных» от 30 декабря 2019 года, а также внедрение специализированных компьютерных программ и сервисов, позволяющим вести электронный документооборот (сервис ЭДиН, программа «1С:Документооборот» и др.).

При ведении электронного документооборота главным условием является наличие соглашения об участии в электронном документообороте между участниками транспортного процесса. Кроме того, при использовании электронных накладных у субъекта хозяйствования должны быть установлены соответствующие программные, технические средства и наличие электронной цифровой подписи (далее – ЭЦП). Электронный документооборот, т.е. создание, передача и получение электронных документов, осуществляется через систему электронного обмена данными (Electronic Data Interchange – EDI) [1].

Условиями приобретения юридической силы транспортными документами являются:

1) Наличие в них ЭЦП ответственных лиц участников электронного документооборота;

2) Они переданы из Республики Беларусь и (или) получены в Республике Беларусь через EDI-провайдеров;

3) Установлено доверие к ЭЦП, а также транспортному и иному документу национальным оператором доверенной третьей стороны по признанию подлинности электронных документов при межгосударственном электронном взаимодействии в соответствии с законодательством Республики Беларусь. В соответствии с Указом Президента Республики Беларусь от 8 ноября 2011 г. № 515 «О некоторых вопросах развития информационного общества в Республике Беларусь» таких оператором признан РУП «Национальный центр электронных услуг».

Кроме того, электронный документооборот и ЭЦП стали наиболее востребованы в период COVID-19, позволяя осуществлять деятельность удаленно и минимизировать некоторый процент непосредственного контактирования между участниками транспортного процесса. Автоматизация многих процессов при значительном влиянии COVID-19 на перево-

зочную деятельность позволяет автотранспортным предприятиям поддерживать должный уровень рентабельности и предлагать клиентам новые услуги.

В процессе цифровой трансформации деятельности в сфере перевозок грузов автомобильным транспортом развитие получили RFID-технологии в качестве метода бесконтактной идентификации, отслеживания и учета объектов, основанный на радиочастотном электромагнитном излучении.

С помощью RFID-технологии производится учет въезда-выезда транспортных средств для автотранспортных предприятий, взимание платы на автомобильных дорогах (или платных участках дорог, мостов, тоннелей), идентификация транспортных средств при въезде-выезде в зону пункта таможенного оформления и в другие места, где необходим контроль за движением транспортных средств. RFID-технологии применяются также в ряде сельскохозяйственных организаций на весовых с возможностью интеграции с большинством цифровых весов. Кроме того, RFID-технологии позволяют проводить дальнейшую цифровизацию автомобильного транспорта путем сбора информации о транспортных средствах. Так, при установке считывающей системы на въезде в ремонтную зону можно автоматически собирать информацию о тех транспортных средствах, которым необходим технический ремонт или техническое обслуживание.

RFID-системы ориентированы на установление объектов в реальном времени (RTLS). Системы работают на полной автоматизации, систематически отслеживают нахождение товарных единиц. RTLS содержат активный радиотег и систему обнаружения, выполненную в виде матрицы устройств обнаружения (ридеров), которые устанавливаются на расстоянии до тридцати метров. Система периодически обновляет данные в базе, одновременно считывая тысячи меток. В RTLS метки читаются постоянно, но при возникновении ошибок местонахождение предмета не определяется [3].

В качестве составляющих элементов RFID-системы выделяют следующие:

1. RFID-метку, функция которой заключается в хранении сведений об объекте, на который она нанесена. При перевозках грузов RFID-метка может находиться как на каждой грузовой единице, так и на отдельной ее партии и содержать разный набор информации о грузах (транспортные характеристики груза, его физико-химические свойства, необходимый температурный режим, требования к условиям хранения, перевозки и погрузочно-разгрузочным работам, предназначение груза, сроки хранения и информацию о грузоотправителе/грузополучателе, др.).

2. Устройство для считывания – ридера. Его практическое назначение состоит в приеме, анализе и расшифровывании сигнала при наведении на RFID-метку. Устройство бывает разных диапазонов расстояний считывания, исходя из которых определяется зона его применения: складское помещение, таможенная зона, любая зона автотранспортного предприятия, требующая регистрации необходимого состояния транспортного средства (прибытие/убытие, нахождение в ремонтной зоне и др.), зона взвешивания и др.

3. Специализированное программное обеспечение, предназначенное для поступления, хранения и воспроизведения полученной информации.

Принцип работы RFID-системы приведен на рисунке.



Рис. Принцип работы RFID-системы

Реализация системы установления объектов в режиме реального времени возможна в виде:

1. GPS. Данный вид реализации позволяет эффективно отслеживать местонахождение груза по миру и передавать сведения через радиосвязь, при этом объект с антенной сам определяет местонахождение путем сканирования сигнала с расположенного рядом радиотега.
2. LLS. LPS применяет паллеты, контейнеры с активными метками большой дальности считывания, решает задачи обнаружения в цепочке логистики, дистрибуции. Недорогие пассивные метки, закрепленные на товаре, помогают отследить процедуру изготовления и упаковки [3].

В рамках осуществления международных перевозок грузов RFID-системы способствуют уменьшению времени осуществления таможенных процедур, ускорению формирования документооборота в таможенной зоне, в результате чего увеличивается скорость доставки груза, улучшается качество предоставляемых услуг как транспортной компанией, так и таможенными органами, а также повышается эффективность производительности труда.

RFID-системы значительно способствуют процессу осуществления складской деятельности, сокращая издержки, связанные с контролем за потоками грузов. Так, при реализации RFID-технологий и поступлении товара на территорию складского помещения, происходит считывание информации с RFID-меток при помощи ридеров. Степень автоматизации работы склада определяется степенью внедрения RFID-технологий в данный процесс. Наиболее полная автоматизация возможна при наличии на складе следующих средств радиочастотного характера:

1. RFID-ридера, установленного на въездных и выездных воротах склада.
2. RFID-ридера, прикрепленного к стеллажам.
3. Ручного RFID-ридера для считывания информации с RFID-меток, расположенных на транспортной таре.
4. Самоклеящихся RFID-меток с возможностью нанесения штрих-кода для их нанесения на товар при такой необходимости.
5. Аппаратно-программных средств мониторинга за потоками товаров, позволяющих определять и регистрировать наименование, количество, состояние и другие количественные и качественные характеристики груза, как поступившего на склад, так и выбывшего (погруженного со склада).

Кроме этого, считыватели могут быть размещены на автопогрузчиках с портативными компьютерами, подключенными к сети Wi-fi. В реальном времени они запрашивают и принимают сведения. Прочитав информацию с метки на коробке, компьютер с автопогрузчика производит контроль водителя либо дает рекомендации во время перемещения товарно-материальных ценностей на складе [3].

RFID-системы дают наибольший положительный эффект для предприятий транспорта, имеющих большие складские мощности, интенсивно используемые для хранения товара, а также большое количество клиентов, пользующихся услугами склада. Кроме этого, еще одним условием является постоянный завоз товара.

RFID-ридеры, прикрепленные к стеллажам, по требованию складской информационной системы могут сканировать чипы и мгновенно выдавать информацию о количестве товара и его местонахождении. Во время автоматической инвентаризации система предупреждает, у каких товаров заканчивается срок годности, определяет нахождение конкретной товарной единицы [3].

Таким образом, электронный документооборот в рамках процесса цифровизации транспортной отрасли является перспективным направлением и позволяет организациям, оказывающим услуги по перевозке, ускорить как перевозочный процесс, так и в целом работу всей организации, осуществлять быстрый доступ к документам в любое время, проводить уменьшение затрат на накладные расходы вследствие экономии на бумажных носителях и человеческом ресурсе, а также обеспечивать удобную форму передачи транспортных документов.

Очевидны и преимущества применения RFID-систем в деятельности автотранспортного предприятия, как при организации отслеживания информации о грузе на протяжении всего этапа перевозки, так и при осуществлении складской деятельности. Результатам их внедрения становится повышение уровня автоматизации работы в организации, прозрачности перевозочного процесса, уменьшение времени простоя под погрузкой/разгрузкой, повышение эффективности производительности труда.

Библиографический список

1. Механизм электронных накладных в Беларуси. Условия, формы, операторы электронных документов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://trans.info/ru/mechanizm-elektronnyih-nakladnyih-v-belarusi-usloviya-formyi-operatoryi-elektronnyih-dokumentov-170226>. – Дата доступа: 13.02.2021.
2. Осипова, Ю.А. Цифровизация в современной транспортной логистике / И.И. Краснова, Ю.А. Осипова // Экономика и управление: социальный, экономический и инженерный аспекты: сборник научных статей II Международной научно-практической конференции, УО Брестский государственный технический университет, г. Брест, 05-06 декабря 2019 г.; редкол.: В.В. Зазерская [и др.]. - Брест: Издательство БрГТУ, 2019. – С. 244–246.
3. Радиочастотная идентификация в логистике, упаковке грузов, товаров [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.pos-shop.ru/articles/rfid-tehnologiya/radiochastotnaya-identifikatsiya-v-logistike-upakovke-gruzov-tovarov>. – Дата доступа: 15.02.2021.
4. Электронный документооборот: теория и практика [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ilex.by/news/elektronnyj-dokumentooborot-teoriya-i-praktika>. – Дата доступа: 13.02.2021.

УДК 621.396; ГРНТИ 49.03.05

ИССЛЕДОВАНИЕ СТАТИСТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ РАДИОСИГНАЛОВ В СИСТЕМАХ СОДЕЙСТВИЯ ВОДИТЕЛЮ

Д.А. Дворянков, С.В. Витязев

*Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань, dvoryankov.d.a@mail.ru*

Аннотация. В работе рассматривается ряд задач, возникающих при формировании подхода к экспериментальной оценке статистических свойств радиотехнических сигналов мм-диапазона, отражающихся от различных объектов. В результате анализа математической модели распределения отражённой от различных объектов мощности были получены числовые характеристика распределения мощностей, а также значения вероятностей обнаружения для исследуемых целей.

Ключевые слова: ССВ, системы предупреждения столкновений, отражение сигналов, миллиметровые волны.

THE STUDY OF STATISTICAL PARAMETERS OF RADIO SIGNALS IN DRIVER ASSISTANCE SYSTEMS

D.A. Dvoryankov, S.V. Vityazev

*Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,
Russia, Ryazan, dvoryankov.d.a@mail.ru*

The summary. The paper discusses the approach to the experimental assessment of the statistical characteristics of radio signals, reflecting from various objects. As a result of the mathematical model analysis the distribution of reflected from various objects power was obtained, as well as the values of the detection probabilities for the targets under study.

Keywords: ADAS, collision avoidance systems, signal reflection, millimeter waves.

Задача обнаружения сигналов формулируется следующим образом. Пусть имеется некоторое число различных сигналов $s_i(t)$, из которых лишь один передается на интервале наблюдения T . Полезные сигналы – сигналы, имеющие информационные параметры, могут быть детерминированными, квазидетерминированными, либо случайными. Прием таких сигналов осуществляется на фоне мешающего воздействия – помехи $x(t)$, вероятностные характеристики которой известны. Известен и характер композиции помехи с полезным сигналом $[s_i(t), x(t)]$.

В любом случае в приемную систему поступает случайный процесс $y(t)$, представляющий собой либо смесь полезного сигнала и помехи, либо только одну помеху. Таким образом, после приема реализации $y(t)$ могут быть выдвинуты разные гипотезы о том, какой из сигналов $s_i(t)$ был передан и был ли он передан вообще. Задача статистической теории обнаружения сигналов – дать метод принятия решения о наиболее достоверной из гипотез.

Однако случайный характер принимаемой реализации $y(t)$ приводит к тому, что принятие решения не застраховано от ошибок. Видимо, при принятии решения следует выбрать такую стратегию, при которой последствия, связанные с указанными ошибками, были бы минимальными.

В зависимости от числа возможных вариантов передаваемых сигналов задачи обнаружения подразделяются на двухальтернативные и многоальтернативные.

В двухальтернативных задачах на интервале наблюдения может передаваться один из двух сигналов. Частным случаем двухальтернативной задачи является обнаружение факта передачи или отсутствия единственного сигнала, так как отсутствие сигнала на интервале наблюдения эквивалентно нулевому сигналу.

В многоальтернативных задачах требуется идентифицировать принятый сигнал с одним из n сигналов с известными характеристиками [1].

По результатам наблюдения конкретной реализации в течении определённого времени наблюдения устройство обнаружения принимает одно из двух альтернативных решений:

«есть сигнал» / «нет сигнала». При этом, конечно, возможны ошибки. Ошибка первого рода – происходит ложное обнаружение шумового выброса – ложная тревога (False Alarm). Ошибка второго рода – за счёт подавления шумом сигнал не обнаруживается – пропуск цели. Очевидно, выбор оптимального правила (критерия) обнаружения связан с проблемой минимизации вероятностей (интенсивности или уровня) ошибок первого и второго рода [2].

Правило, по которому из нескольких потенциальных устройств обнаружения выбирается оптимальный, называется критерием оптимальности. Наиболее общим критерием оптимального обнаружения является критерий Байеса, или иначе – критерий минимума среднего риска. С точки зрения критерия Байеса оптимальным считается такой обнаружитель, который имеет минимальную вероятность ошибочных решений с учетом их «веса» или степени нежелательности. Недостаток этого критерия - необходимость знания априорных вероятностей.

В радиолокации наибольшее применение находит критерий Неймана-Пирсона ввиду того, что он не требует знания априорных вероятностей. При критерии Неймана-Пирсона фиксируется вероятность ложной тревоги $F = \text{const}$, время обнаружения T и максимизируется вероятность правильного обнаружения D , т.е. ищется такое правило решений $\delta(y)$, которое обеспечивает при заданном F среди всех прочих решений максимальное D (см. рисунок 1). Порог решения выбирается согласно выражению 1.

$$h = P\{\Lambda(y) \geq T\} = \int_T^\infty w(\Lambda(y)|0)d\Lambda = F, \quad (1)$$

где $\Lambda(y)$ – отношение правдоподобия. Для максимизации вероятности правильного обнаружения необходимо использовать правило принятия решений (выражение 2).

$$\Lambda(y) = \frac{w(y|1)}{w(y|0)} \geq T. \quad (2)$$

Зная закон распределения мощности, отражённой от объекта, можно оценить числовые характеристики – математическое ожидание и дисперсию. Так же мы можем оценить вероятность правильного обнаружения целевого объекта [3].

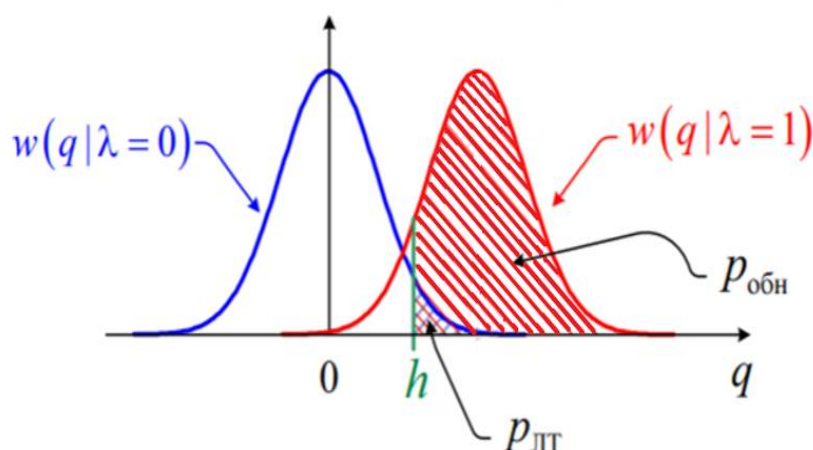


Рис. 1. Оценка вероятности обнаружения цели по критерию Неймана-Пирсона

Для регистрации отражённых сигналов в реальных условиях был использован отладочный модуль AWR1642boost фирмы Texas Instruments. При помощи него и модифицированного ПО для каждого из исследуемых объектов были определены граничные мощности

принимаемого сигнала, а затем в полученном диапазоне сформированы гистограммы распределения. При этом сигнал записывался только из конкретного канала дальности и канала доплеровского сдвига частоты, где находился исследуемый объект. В эксперименте использовались следующие объекты: силикатный кирпич, металлический цилиндр, деревянный брус и смятая автомобильная крышка. Эти объекты были выбраны исходя из анализа аварийных ситуаций на дороге, причиной которых являлись посторонние предметы.

В результате проведения испытаний были получены экспериментальные данные, которые были подвержены аналитическому исследованию. Было установлено, что мощности распределены по нормальному закону, это предположение позволило аппроксимировать гистограмму в среде Matlab, и рассчитать числовые характеристики: математическое ожидание и дисперсию. Аппроксимированная гистограмма распределения мощностей при отсутствии целей представлена на рисунке 2. Рассчитанные значения числовых характеристик представлены в таблице 1.

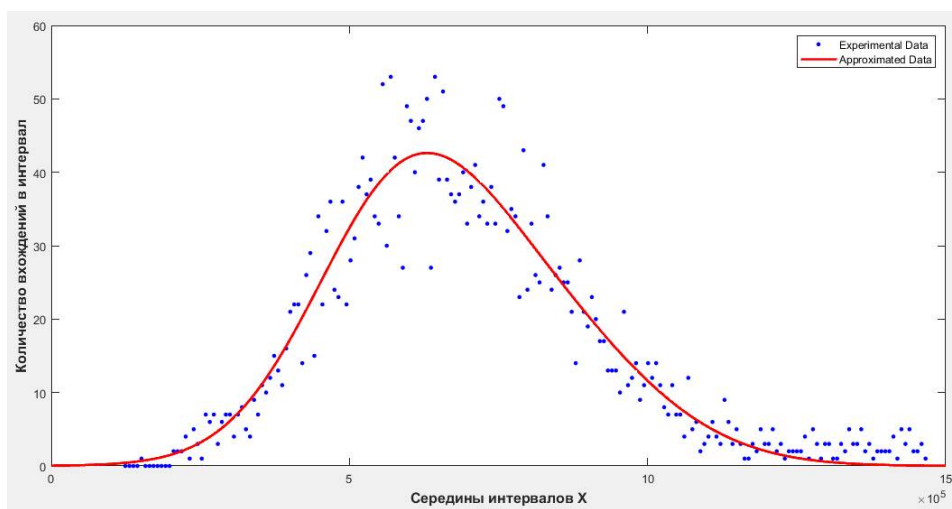


Рис. 2. Результаты оценки статистических свойств отражённых сигналов

Из полученных данных (таблица 1) видно, что и математическое ожидание, и дисперсия сильно зависят не только от типа объекта, но и от угла расположения объекта относительно направления излучения. Соответствующие данным таблицы графики зависимостей приведены на рисунке 3.

В среде Matlab была написана программа, реализующая выбор порога, а также расчёт вероятностей правильного обнаружения для исследуемых целевых объектов. В таблице 2 приведены результаты расчёта вероятностей обнаружения для трёх исследуемых объектов. На рисунке 4 приведена зависимость вероятности обнаружения объекта от его типа и положения относительно направления излучения. Порог выбирался по критерию Неймана-Пирсона следующим образом: фиксированная вероятность ложной тревоги принималась равной 1×10^{-5} [4], а затем для каждого случая рассчитывалась вероятность правильного обнаружения по формуле 3.

$$p_{\text{обн}} = \Pr\{q > h | \lambda = 1\} = \int_h^\infty w(q | \lambda = 1) dq \quad (3)$$

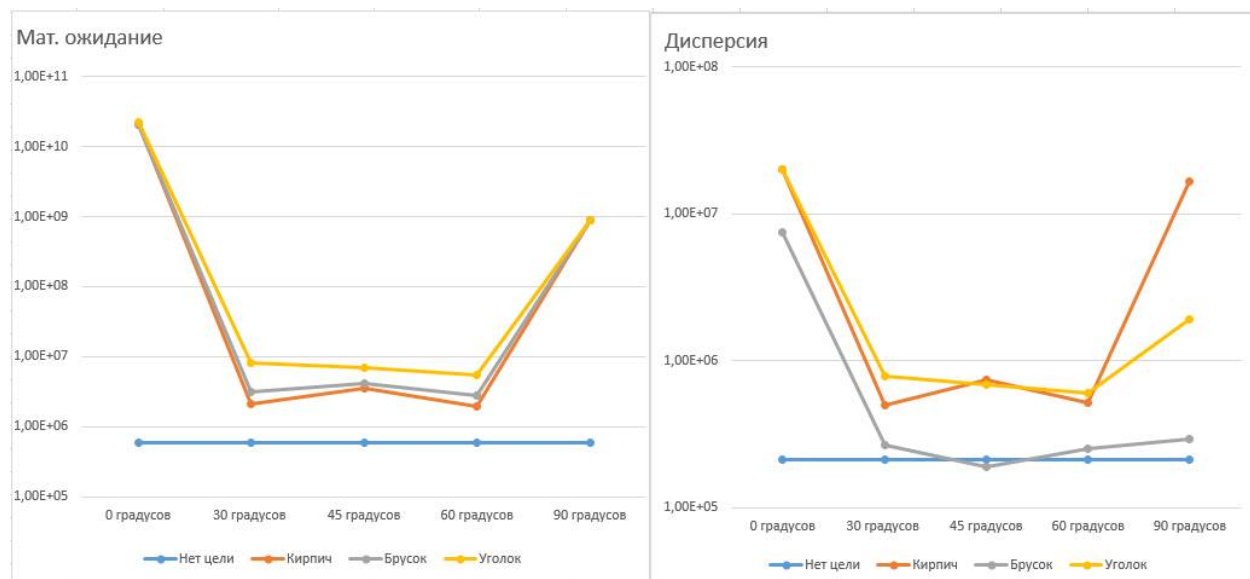


Рис. 3. Результаты оценки статистических свойств отражённых сигналов

Таблица 1. Зависимость величины числовых характеристик от типа и положения цели

	Нет цели		Кирпич		Брусок		Уголок		Покрышка	
	Mat. ожидание	Дисперсия	Mat. ожидание	Дисперсия	Mat. ожидание	Дисперсия	Mat. ожидание	Дисперсия	Mat. ожидание	Дисперсия
0°	$5.97 \cdot 10^5$	$2.12 \cdot 10^5$	$2.03 \cdot 10^{10}$	$1.99 \cdot 10^7$	$1.93 \cdot 10^8$	$7.42 \cdot 10^6$	$2.12 \cdot 10^9$	$2.01 \cdot 10^7$	$2.01 \cdot 10^8$	$1.07 \cdot 10^7$
30°	—	—	$1.53 \cdot 10^6$	$4.94 \cdot 10^5$	$9.49 \cdot 10^5$	$2.66 \cdot 10^5$	$4.95 \cdot 10^6$	$7.80 \cdot 10^5$	—	—
45°	—	—	$2.87 \cdot 10^6$	$7.36 \cdot 10^5$	$6.79 \cdot 10^5$	$1.88 \cdot 10^5$	$2.77 \cdot 10^6$	$6.90 \cdot 10^5$	—	—
60°	—	—	$1.33 \cdot 10^6$	$5.15 \cdot 10^5$	$8.34 \cdot 10^5$	$2.52 \cdot 10^5$	$2.73 \cdot 10^6$	$6.00 \cdot 10^5$	—	—
90°	—	—	$8.76 \cdot 10^8$	$1.67 \cdot 10^7$	$8.03 \cdot 10^5$	$2.93 \cdot 10^5$	$1.61 \cdot 10^7$	$1.90 \cdot 10^6$	$1.46 \cdot 10^7$	$3.28 \cdot 10^6$

Таблица 2. Зависимость вероятности обнаружения от типа и положения цели

	кирпич	брусек	уголок	покрышка
0°	1	1	1	1
30°	0.462116415797653	0.003989896082277	0.999984226802972	—
45°	0.993789922563553	0.000074474113943	0.984703202096775	—
60°	0.260293121627120	0.004203127452709	0.991664142458470	—
90°	1	0.000037995858218	1	0.999999986875844

Анализируя полученные данные, можно сделать следующие выводы:

- получены экспериментальные оценки законов распределения вероятностей мощности отражения для набора типовых целей;
- полученные оценки позволяют оценить вероятности обнаружения типовых целей в реальных условиях;
- вероятность обнаружения сильно зависит от ракурса цели и сопутствующих условий;
- стабильно высокая вероятность обнаружения характерна только для углов поворота 0 и 90 градусов.

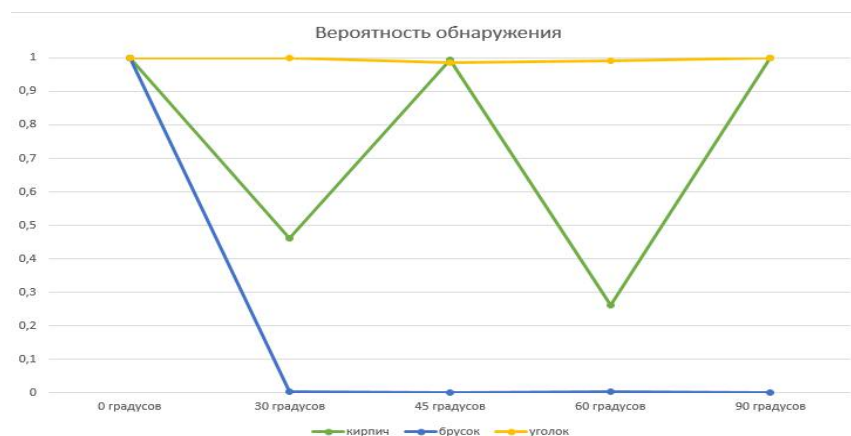


Рис. 4. Зависимость вероятности правильного обнаружения от типа и положения целевого объекта

В результате прохождения практики НИР была проделана необходимая исследовательская работа, которая в дальнейшем станет основой практической части выпускной квалификационной работы. В результате анализа математической модели распределения отражённой от различных объектов мощности были получены числовые характеристика распределения мощностей, а также значения вероятностей обнаружения для исследуемых целей. В рамках последующей научной работы предполагается увеличить число экспериментов и получить зависимости вероятности обнаружения от ракурса большого числа целей, получить экспериментальные оценки зависимости вероятности обнаружения от объема разрешения и дальности до цели, а также подробнее исследовать вопрос выбора порога, используемого при расчете вероятностей обнаружения.

Библиографический список

1. Лебедько Е.Г. Математические основы передачи информации. Ч.3, 4: учеб. пособие для вузов.- СПб: СПбГУИТМО, 2009. - 120 с.
2. Бакулев П. А. Радиолокационные системы. Учебник для вузов. Изд. 3-е, пере- раб. и доп. - М.: Радиотехника, 2015. - 440 с., ил.
3. Кротова Е.И. Радиотехнические цепи и сигналы (часть 2): практикум / Е. И. Кротова // Яросл. гос. ун-т им. П. Г. Демидова. – Ярославль, ЯрГУ. – 2018. - 68 с.
4. Sarabandi K. Polarimetric characterization of debris and faults in the highway environment at millimeter-wave frequencies. - IEEE transactions on antennas and propagation, vol. 48, no. 11, november 2000. - pp. 1756-1768.

УДК 621.396; ГРНТИ 49.29

РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ СИСТЕМЫ СВЯЗИ СИГНАЛА С QPSK МОДУЛЯЦИЕЙ

С.А. Шевлягин, А.Ю. Линович

Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань, serezha.serj-shevliagin1603@yandex.ru

Аннотация. Разработка модели системы связи включает приёмник, передатчик и канал связи. Программа генерирует поток из 256 символов, преобразует их в символ из 4 созвездий и затем добавляет шум AWGN. Сигнал представляется в виде двухмерной точечной диаграммой на комплексной плоскости точками. Декодер основной полосы частот является декодером максимального правдоподобия в очень простой форме.

Ключевые слова: система связи, QPSK, двухлучевой канал, AWGN, ГСЧ, SER.

DEVELOPMENT OF A MODEL OF A SIGNAL COMMUNICATION SYSTEM WITH QPSK MODULATION

S.A. Shevlyagin, A.Y. Linovich

Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,
Russia, Ryazan, serezha.serj-shevliagin1603@yandex.ru

The summary. The development of a communication system model includes a receiver, a transmitter and a communication channel. The program generates a 256-character stream, converts it to a 4-constellation character, and then adds AWGN noise. The signal is represented as a two-dimensional scatter plot on the complex plane by dots. The fundamental decoder is a maximum likelihood decoder in a very simple form.

Keywords: communication system, QPSK, dual channel, AWGN, RNG, SER.

Целью работы является разработка модели системы связи, которая включает в себя приёмник, передатчик и канал связи. Модель канала представляет собой двухлучевой, который может быть реализован с помощью КИХ-фильтра, или многолучевой канал. Такие каналы используются, например, в авиационной радиосвязи, где возможны несколько ситуаций передачи информации: воздух-воздух, земля-воздух, земля-земля. Для этих ситуаций, помимо двухлучевого, рассматриваются модели каналов, такие как Райса и Релея [1-3]. Моделирование ведётся в программном пакете кроссплатформенной среде разработки Qt Creator на языке программирования C++. Для определённости выберем следующие параметры: вид модуляции QPSK, сигнал передаётся кадрами по 256 символов (512 бит), между кадрами вставляется защитный интервал, частота передачи кадров равна 10^4 кадров в секунду, канал связи описывается двухлучевой моделью с аддитивным белым гауссовским шумом. Реализация модели связи в дальнейшем будет готова для обработки эквалайзером на ЦСП семейства TMS320C6000.

В процессе работы проделаны следующие этапы:

1. Создание модели передатчика (генератор случайной битовой последовательности и модулятор QPSK).
2. Создание модели приёмника (демодулятор и пороговый детектор).
3. Создание модели канала связи (два луча, из которых один задерживает сигнал на несколько отсчётов).

Программа генерирует поток размером 256 символов (512 бит), преобразует их в символ из 4 созвездий и затем добавляет шум AWGN. Переданный символ рассчитывается по критерию максимального правдоподобия.

В модуляторе QPSK модулированный сигнал с произвольным видом модуляции представляется в виде:

$$S(t) = I(t) \cos \omega_0 t - Q(t) \sin \omega_0 t,$$

где $I(t)$ и $Q(t)$ называют синфазной и квадратурной компонентами модулирующего сигнала соответственно. Низкочастотные сигналы $I(t)$ и $Q(t)$ образуются с исходного сообщения. Закон, согласно которому производится данное преобразование, устанавливает тип модуляции сигнала.

Сигнал представляется в виде двумерной точечной диаграммой на комплексной плоскости точками, в которой есть все допустимые символы, показанные в геометрической форме. В диаграмме отмечены все значения, какие могут являться подобраны данной схемой манипуляции, как точки на комплексной плоскости. Сигнальные созвездия, установленные в итоге измерения сигнала, могут применяться с целью определения вида манипуляции, рода интерференции, а также уровня искажений.

Декодер основной полосы частот является декодером максимального правдоподобия в очень простой форме. Случайные числа с нормальным (гауссовым) распределением используют преобразования Бокса-Мюллера [4]. Это преобразование берет два равномерно распределенных отклонения внутри единичной окружности и преобразует их в два независимо распределенных нормальных отклонения. Использует внутреннюю функцию `rand()`; который можно легко изменить, чтобы использовать более качественный и быстрый генератор случайных чисел (ГСЧ). Параметры, передаваемые в функцию, - это среднее значение и стандартное отклонение желаемого распределения. Если аргументы не переданы, по умолчанию используются значения 0 и 1 - стандартное нормальное распределение. Предусмотрены две функции:

- первая использует так называемую полярную версию преобразования Бокса-Мюллера, используя множественные вызовы однородного ГСЧ, чтобы гарантировать, что начальные отклонения находятся в пределах единичной окружности. Это позволяет избежать дорогостоящих вызовов тригонометрических функций;
- вторая выполняет только один набор вызовов ГСЧ и вычисляет положение в единичном круге с помощью двух вызовов тригонометрических функций.

Полярная версия обычно превосходит по скорости; однако в некоторых системах оптимизация математических библиотек может привести к повышению производительности второй.

После запуска программы её результат записывается в файл функцией `freopen()`.

В самом результате можно наблюдать следующее:

- символы, которые передались (`symbol`),
- символы с добавленным шумом AWGN (`sym+noise compl`),
- принятые символы (`symbol ric`),
- подсчёт вероятности символьной ошибки SER, где указывается отношение энергии сигнала, приходящейся на 1 бит принимаемого сообщения (E_b), к энергетической спектральной плотности шума (N_0).

В свою очередь в SER указывается:

- отношение энергии сигнала, приходящейся на 1 бит принимаемой информации (E_b), к энергетической спектральной плотности шума (N_0); используется в цифровых системах передачи данных вместо отношения сигнал/шум с целью расчета вероятности погрешности в цифровых каналах связи при разной модуляции без учёта пропускной способности канала,
- отношение ошибочных символов к общему количеству переданных символов,
- результат этого отношения.

На рисунке представлен процесс моделирования системы связи, где в передатчике передаются входные символы (верхний рисунок), далее они проходят через канал, где на них накладывается шум (средний рисунок), а после поступают в приёмник (нижний рисунок).

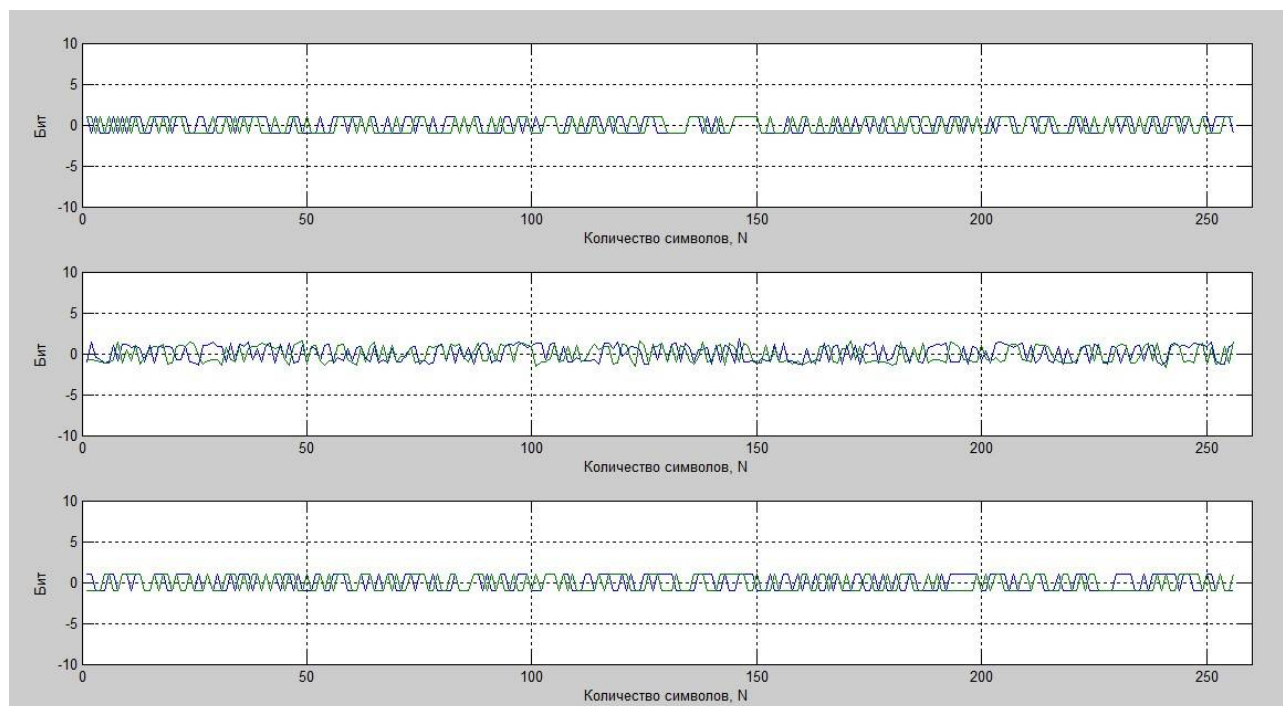


Рис. Процесс моделирования системы связи

Библиографический список

1. Simon G. Simulation-based optimization of communication protocols for large-scale wireless sensor networks, IEEE Aerospace Conference, Big Sky, MT, March 8-15, 2003.
2. Simon G. Probabilistic wireless network simulator, 2003, <http://www.isis.vanderbilt.edu/projects/nest/prowler>.
3. Tam W.K. and Tran V.N. Propagation modeling for indoor wireless communication, Journal of Electronics and Communication Engineering, pp.221-228, October 1995.
4. E. R. Golder, J. G. Settle. The Box-Müller Method for Generating Pseudo-Random Normal Deviates / E. R. Golder, J. G. Settle. Journal of the Royal Statistical Society Series C, Royal Statistical Society, vol. 25(1), pages 12-20, March, 1976.

УДК 621.3.087.47; ГРНТИ 37.21.03

УСТРОЙСТВО ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

А.О. Мордвинов, А.А. Свиязов

*Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань, anmail98@mail.ru*

Аннотация. В работе рассматривается процесс разработки устройства, позволяющего измерять основные параметры окружающей среды, его элементная база и алгоритм работы.

Ключевые слова: температура, относительная влажность, атмосферное давление, диоксид углерода (CO₂), Wi-Fi.

ENVIRONMENT MEASURING DEVICE

A.O. Mordvinov, A.A. Svijazov

*Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,
Russia, Ryazan, anmail98@mail.ru*

The summary. The paper discusses the development process of a device that allows you to measure the main parameters of the environment, its element base and the algorithm of operation.

Keywords: temperature, relative humidity, atmospheric pressure, carbon dioxide (CO₂), Wi-Fi.

Из большого числа параметров окружающей среды наиболее часто используют температуру, влажность и давление. В последнее время необходимо измерять химический состав окружающей среды, например, уровень углекислого газа (CO_2). Кроме измерения параметров необходимо проводить анализ их изменения, что требует передачи их на вычислительное устройство по беспроводному каналу. Отличительными особенностями проектируемого устройства является повышенная точность и широкий диапазон значений измеряемых параметров окружающей среды.

Обзор элементной базы

Параметры датчиков температуры с погрешностью, не превышающей $2,25^\circ\text{C}$, и широким диапазоном температур приведены в таблице 1.

Таблица 1. Параметры датчиков температуры

Название	Диапазон температур, $^\circ\text{C}$	Погрешность ¹ , $^\circ\text{C}$	Интерфейс
DS18B20	-55...125	2	1-Wire
Ts1c 30x	-50...150	1,2	ZACWire
Si7051	-40...125	0,25	I ² C
TMP117	-55...150	0,25	I ² C/ SMBus
Vantage Pro-2 ²	-45...60	0,5	Неизвестно
WTX520 ²	-52...60	0,7	Неизвестно
SHT75	-40...123,8	1,5	I ² C-подобный
HYT-271	-40...125	2,25	I ² C
TSYS01	-40...125	0,5	I ² C/SPI
¹ Максимальная погрешность диапазона -50...+50 $^\circ\text{C}$ (если датчик его поддерживает)			
² Название метеоконцентра в целом			

В таблице присутствуют две станции контроля воздуха – Vantage Pro-2 и WTX520. Их датчики температуры имеют достаточно высокую точность, но наиболее точные и широкодиапазонные датчики – это Si7051 и TMP117. При этом датчик температур TMP117 имеет более широкий интервал измеряемых температур. Поэтому для проектируемого устройства выбран этот датчик.

Датчик TMP117 может работать в режиме циклического измерения (Continuous Conversion Mode) или однократного измерения (One-Shot Mode) [1]. Для повышения точности и устранения шума в датчике предусмотрен режим усреднения данных по серии измерений (8, 32 и 64). При использовании интерфейса I²C возможно подключение до 4 датчиков путем задания на выводах адреса каждому датчику. Вывод ALERT используется в составе интерфейса SMBus либо сообщения о выходе температуры за установленные границы.

Датчики относительной влажности с широким диапазоном измерений и их характеристиками также приведены в таблице 2.

Таблица 2. Параметры датчиков относительной влажности

Название	Диапазон относительной влажности, %	Погрешность ¹ , %	Интерфейс	Цена, руб
HTU21D	0...100	4	I ² C	880
SHT75	0...100	3	I ² C- подобный	Снято с производства
HYT-271	0...100	3	I ² C	3340
Vantage Pro-2 ²	10...98	4	Неизвестно	-
WTX520 ²	1...100	5	Неизвестно	-
Si7021	0...100	4	I ² C	580
HCPD-3V-S2	0...100	3,5	I ² C	530

¹Максимальная погрешность диапазона 5...95% (если датчик его поддерживает)

²Название метеоконцентра в целом

Из данного списка выбираем HCPD-3V-S2 – его параметры удовлетворяют требованиям проектирования, а стоимость в 6 раз ниже, чем у немного более точного HYT-271.

Модификация 3V-S2 датчика HCPD работает только в режиме однократного измерения, все остальное время находится в спящем режиме. Сенсор имеет 2 вывода Alarm_High и Alarm_Low для сигнализации о выходе влажности за установленные верхний и нижний пределы [2].

Датчики атмосферного давления вместе с основными параметрами приведены в таблице 3.

Таблица 3. Параметры датчиков атмосферного давления

Название	Диапазон давления, гПа	Погрешность ¹ , гПа	Интерфейс
BMP280	300-1100	1,7	I ² C/SPI
MS5611	10-1200	5	I ² C/SPI
MS5840	10-2000	4	I ² C
Vantage Pro-2 ²	880-1080	1	Неизвестно
WTX520 ²	600-1100	1	Неизвестно
ICP10100	250-1150	1,5	I ² C
LPS22HH	260-1260	0,5	I ² C/MIPI I3C SM /SPI

¹Максимальная заявленная производителем погрешность

²Название метеоконцентра в целом

Модели MS5611 и MS5840 имеют самые широкие диапазоны измерений, однако атмосферное давление у поверхности земли в таких пределах не колеблется и такие сенсоры преимущественно нацелены на беспилотные летательные аппараты в качестве датчиков высоты. Самым точным из представленных является LPS22HH, при этом его диапазон перекрывает возможные изменения атмосферного давления у поверхности земли (порядка 700-1100 гПа).

LPS22HH достаточно многофункциональный – он имеет целый спектр настраиваемых аппаратных возможностей. Режимы работы поддерживаются такие же, как и у TMP117: Continuous и One-Shot; имеется возможность включить функцию шумоподавления Low Noise, которая повышает потребляемый ток, но эффективнее борется с шумом; также данные с чувст-

вительных элементов датчика после оцифровки обязательно попадают в ФНЧ, при этом пользователь может настроить дополнительную фильтрацию во втором ФНЧ, если это необходимо. Чтение результатов измерений может происходить асинхронно – по запросу от управляющего устройства, синхронно – по сигналу специальной линии прерываний, и через FIFO-буфер, который, в свою очередь, имеет гибкие настройки [3].

Оценим существующие решения в области измерения CO_2 . Как и ранее, характеристики приведены таблице (таблица 4).

Таблица 4. Параметры датчиков диоксида углерода

Название	Диапазон измерений, ppm	Погрешность, ppm + %	Рабочие температуры, °C	Интерфейс	Цена ¹
EE894	0-2000/5000/10000	50+2 / 3 100+5	-40-60	I ² C / E2	180 \$
EE895	0-2000/5000/10000	50+2 / 3 100+5	-40-60	I ² C / UART	78 €
CozIR [®] -A	0-2000/5000/10000	50+3	-25-50	UART	109 \$
MH-Z19B	0-5000	50+3	0-50	UART	2040 Р
S8 LP	400-2000	40+3	0-50	UART	2674 Р
Sunrise	400-10000 ²	30+3	0-50	I ² C / UART	199 \$
SCD30	400-10000	30+3	0-50	I ² C / UART	83 \$
¹ Цена ориентировочная, транспортные расходы не учтены					
² Полный диапазон, указанная точность достигается на участке 400-5000 ppm					

Из таблицы 4 видно, что появились дополнительные параметры, по которым сравниваются сенсоры. Так, приведен диапазон рабочих температур, поскольку, как видно, многие измерительные модули не могут переносить низкие температуры; указана приблизительная цена датчика, однако большая часть из них не реализуется на российских площадках, продающих электронные компоненты, возможность их доставки напрямую из зарубежных компаний также под большим вопросом.

Таким образом, при проектировании на начальном этапе имеет смысл взять самый доступный датчик – MH-Z19B. Он работает через UART, как и почти все его более дорогие и редкие конкуренты, поэтому дальнейшая замена, если это будет нужно, сведется буквально к изменению только программы в микроконтроллере.

Модуль MH-Z19B довольно распространен в «домашних» проектах, поэтому есть масса примеров его использования и тестов. Основные особенности MH-Z19B следующие: калибровку в отличие от версии с литерой «А» теперь можно проводить на свежем воздухе, а не в азотной камере; присутствует настраиваемая автокалибровка (за некоторое время наблюдений выбирается минимальное значение и принимается за уровень 400 ppm); также получать значения концентрации CO_2 можно через аналоговый или ШИМ-выходы [4].

Процессом измерений будет управлять микроконтроллер. Поэтому требованием к нему является наличие аппаратных интерфейсов I²C и UART, а также работа в диапазоне температуры от -40 °C до +50 °C. В таблице 5 представлены существующие контроллеры с их характеристиками. Все модели работоспособны в необходимом температурном диапазоне и располагают минимум одним I²C и UART.

Таблица 5. Параметры микроконтроллеров

Название	Flash/RAM, Кбайт	Разряд- ность	Производи- тельность, DMIPS	Линии ввода- вывода	Напряжение питания, В	Цена, руб
Arduino Mega	256/8	8	16	54	1,8-20	2300
Arduino Due	512/96	32	84	54	1,8-20	6290
ATxmega128A1	128/8	8	32	78	1,6-3,6	590
ATmega128-16AU	128/4	8	16	53	2,7-5,5	590
ATmega1284P	128/16	8	20	32	1,8-5,5	440
PIC32MM0256GPM064	256/32	32	37	52	2-3,6	410
PIC32MZ2048EFG144	2048/512	32	330	120	2,2-3,6	1700
PIC32MZ1024EFE064	1024/256	32	330	53	2,2-3,6	1170
PIC18F65K40	32/2	8	16	60	2,3-5,5	290
PIC16F15344	7/0,5	8	8	18	2,3-5,5	120
PIC24FJ128GB106	128/16	16	16	64 ¹	2-3,6	647
STM32F746IGT6	1024/320	32	462	140	1,7-3,6	1360
STM32F407VGT6	1024/192	32	210	82	1,8-3,6	610
STM32H743ZIT6U	2048/1024	32	856	114	1,62-3,6	2060
STM32F103C8T6	64/20	32	90	32	2-3,6	140
STM32L151CBT6A	128/32	32	40	37	1,65-3,6	250

¹Количество выводов у корпуса

Для разработки нового устройства используем 32-битный STM32F103C8T6. Он превосходит по возможностям 8-битные модели, при этом его стоимость сравнима [5].

Результаты измерений передаются на ПК с помощью Wi-Fi трансмиттера, поскольку, во-первых, вычислительные возможности компьютера позволят быстро проводить разного рода анализ и строить аналитику, графики, а во-вторых, Wi-Fi позволит работать с целыми сетями из датчиков, причем существует возможность размещать их на значительном удалении.

На данный момент Wi-Fi трансмиттеры в модульном исполнении фактически производит только компания «Espressif Systems». На базе ее чипов ESP8266 существует линейка готовых к использованию модулей ESP01-12. Отличия между моделями в основном сводятся к наличию или отсутствию антенны, форме самого модуля, и количеству «ножек» контроллера, выведенных наружу. Наиболее дешевый и соответствующий запросам разработки модуль – ESP01.

Данный модуль имеет на плате штыревой разъем с 8-ю выводами, 2 из которых «плюс» питания и «земля». Стандартная «прошивка» позволяет работать AT-командами через UART [6], но есть специальный инструмент для разработки собственных вариантов программ, в том числе популярная среда «Arduino IDE» адаптирована для этих целей, но в рамках проектируемого устройства это не нужно, так как всю работу с периферией будет выполнять отдельный контроллер.

Текущие показатели, кроме компьютера, выводятся на знаковосинтезирующем дисплее. Также данный дисплей позволяет отображать возникающие проблемы с подключением к сети и обрывы связи с сенсорами.

Все подобные дисплеи от разных производителей обладают почти полностью идентичными характеристиками, так как основаны на одном контроллере – HD44780 (или его

аналогах). Поэтому единственная разница между ними – форм-фактор и число строк и столбцов. Самые часто встречающиеся варианты: 20 на 4, 16 на 2, 16 на 1, – где первое число представляет собой количество символов в строке, а второе – строк. Для разработки используем дисплей с 4-мя строками – для отображения каждого из параметров в отдельной строке.

Алгоритм работы

Функциональная схема устройства представлена на рисунке.

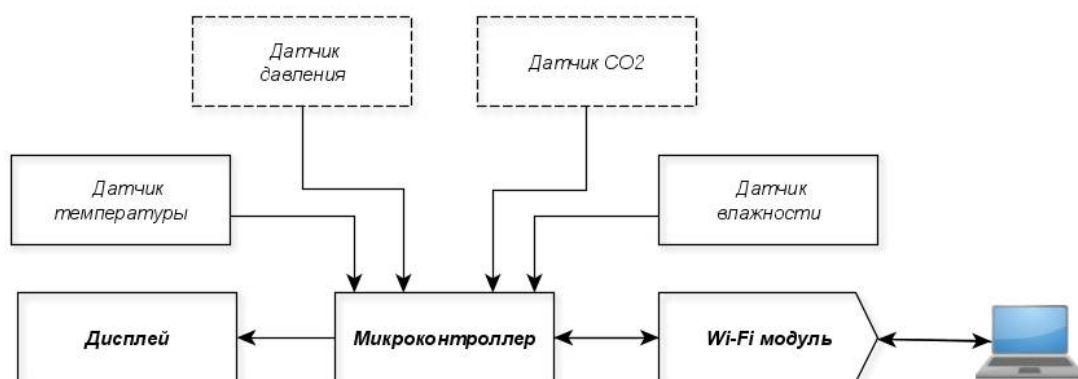


Рис. Функциональная схема устройства

После подачи питания на микроконтроллер производится первоначальная инициализация всей периферии и тактовых частот. Затем настраивается дисплей, и устройство ожидает сигнала с Wi-Fi передатчика об успешном подключении к сети. В случае, если подключение осуществлено, на трансмиттер посылаются команды подключения к серверу по TCP/IP протоколу, иначе на дисплей отправляется сообщение об ошибке. После запускается первая серия измерений параметров среды, данные обрабатываются и, если соединение с сервером успешно установлено, отправляются на него, в противном случае сохраняются в буфер. Затем микроконтроллер переходит в режим энергосбережения. Из этого режима он может выйти при наступлении следующих событий:

- Прерывание от кнопки управления дисплеем. Если дисплей отключен, то он инициализируется, если включен, то выводы контроллера, связанные с ним, переводятся в аналоговый режим для экономии энергии.
- Прерывание по истечении периода измерений. В данном случае инициируется процесс измерений, данные отправляются на сервер или записываются в буфер. Если включен дисплей, то выводятся на него. Если буфер не пуст и соединение с сервером установлено, то данные из буфера также отправляются на него.
- Прерывание от кнопки установки новых сетевых параметров. По нажатию кнопки контроллер запрашивает через UART набор сетевых параметров и записывает их внутрь AT-команд.
- Прерывание от кнопки изменения периода измерений. Устанавливает следующий из списка в памяти период измерений.
- Прерывание от кнопки мгновенного измерения. Действия аналогичны тем, что происходят по истечении периода измерений.

После любого из прерываний микроконтроллер возвращается обратно в режим энергосбережения и находится в нем до наступления какого-либо события из списка выше.

Выводы

Благодаря спроектированному устройству получится проводить точные измерения таких параметров, как температура, влажность, атмосферное давление и концентрация диоксида углерода, что будет важно как при проведении метеорологических исследований, так и лабораторных экспериментов, разного рода технологических операций. Беспроводная передача обеспечивает обработку и анализ результатов измерения в комфортной среде по сравнению с контролируемой средой.

Библиографический список

1. TMP117 [Электронный ресурс]. Texas Instrument, June 2018 – revised march 2019. URL:<http://www.ti.com/lit/ds/symlink/tmp117.pdf> (дата обращения 15.02.21)
2. HumiChip / Humidity & Temperature solution [Электронный ресурс]. Samyung, v3.8, 2012. URL:<https://doc.platan.ru/pdf/datasheets/other/hcpd.pdf> (дата обращения 15.02.21)
3. AN5209 Application note / LPS22HH: MEMS nano pressure sensor [Электронный ресурс]. STMicroelectronics, Rev 2 - February 2019. URL:https://www.st.com/resource/en/application_note/dm00531529-lps22hh-mems-nano-pressure-sensor-stmicroelectronics.pdf (дата обращения 15.02.21)
4. Intelligent Infrared CO2 Module (Model: MH-Z19B) / User's Manual [Электронный ресурс]. Zhengzhou Winsen Electronics Technology Co., Ltd, Version 1.0 – valid from: 2016.01.21. URL:https://www.winsen-sensor.com/d/files/infrared-gas-sensor/mh-z19b-co2-ver1_0.pdf (дата обращения 15.02.21)
5. STM32F103x6 STM32F103x8 STM32F103xB [Электронный ресурс]. August 2015 / Rev 17. URL:<https://www.st.com/resource/en/datasheet/stm32f103c8.pdf> (дата обращения 15.02.21)
6. Базовые AT команды ESP8266 [Электронный ресурс]. URL:<https://radiopro.ru/post/397> (дата обращения 15.02.21)

УДК 621.396; ГРНТИ 49.37.33

РАЗРАБОТКА АДАПТИВНОГО ЭКВАЛАЙЗЕРА ДЛЯ РАДИОТЕЛЕФОНА

М.Д. Королев*, А.Ю. Линович**

*Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань, matvey.korolev23@mail.ru,

**Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань, aud406@yandex.ru.

Аннотация. Рассматривается система подвижной связи стандарта “DECT”. Приводится функциональная схема данной системы, а также применение адаптивного фильтра.

Ключевые слова: адаптивный фильтр, канал связи, система подвижной радиосвязи.

DEVELOPMENT OF AN ADAPTIVE EQUALIZER FOR A RADIOTELEPHONE

M. D. Korolev*, A. Yu. Linovich**

*Ryazan State Radio Engineering University named after V. F. Utkin,
Ryazan, Russian Federation, matvey.korolev23@mail.ru,

**Ryazan State Radio Engineering University named after V. F. Utkin,
Ryazan, Russian Federation, aud406@yandex.ru

Annotation. A mobile communication system of the “DECT” standard is considered. The functional scheme of this system, as well as the use of an adaptive filter, is given.

Keywords: adaptive filter, communication channel, mobile radio communication system.

В данной работе рассматривается принцип работы сети связи стандарта “DECT” для приема частотно модулированного сигнала (ЧМ). Для компенсации межсимвольной интерференции, возникающей в результате отраженных сигналов в канале связи, требуется эквалайзер на основе адаптивного фильтра, применение такого фильтра позволит уменьшить количество ошибок на приемной стороне [1]. Стоит отметить, что параметры модели выбирались в соответствии с требованиями стандарта.

Разработка модели системы “ДЕСТ” для проведения эксперимента

Основная цель работы создать компьютерную модель эквалайзера и проверить его работоспособность, для достижения этой цели необходимо решить следующие задачи:

1. разработка функциональной схемы системы подвижной радиосвязи;
2. разработка модели канала связи;
3. разработка модели эквалайзера;
4. проведение моделирования и анализ полученных результатов.

Функциональная схема системы подвижной радиосвязи (рисунок 1):

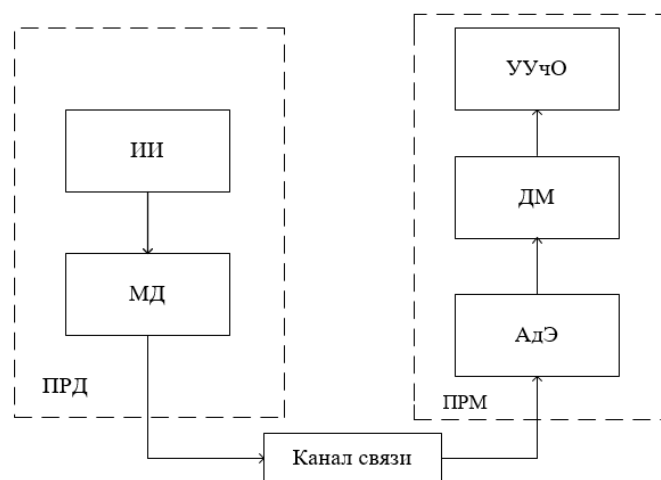


Рис. 1. Функциональная схема системы подвижной радиосвязи

Система связи состоит из трех частей:

1. Передающая часть.
2. Канал связи.
3. Приемная часть.

Передающая часть состоит из следующих функциональных блоков:

- 1) источник информации (ИИ)-генерирует передаваемый сигнал;
- 2) модулятор (МД)- осуществляет изменения параметра несущего колебания (амплитуды, частоты, фазы) в соответствии с изменениями информационного (передаваемого) сообщения.

Приемная часть системы связи состоит из следующих функциональных блоков:

- 1) адаптивный эквалайзер- осуществляет фильтрацию входного сигнала, который поступает на приемник;
- 2) демодулятор (ДМ) – выполняет функцию выделения из несущего колебания передаваемого сообщения. Стоит отметить, что для восстановления несущей используется нелинейная обработка сигналов, а именно-возведение в квадрат, которая в свою очередь является самым простым с точки зрения вычисления затрат.
- 3) устройство учета ошибок (УУчО) – выполняет сравнение сигнала ИИ с сигналом после демодулятора, при их несовпадении регистрирует ошибку.

В данной работе использовалась двухлучевая модель канала связи, которая была реализована в виде КИХ-фильтра (рисунок 2):

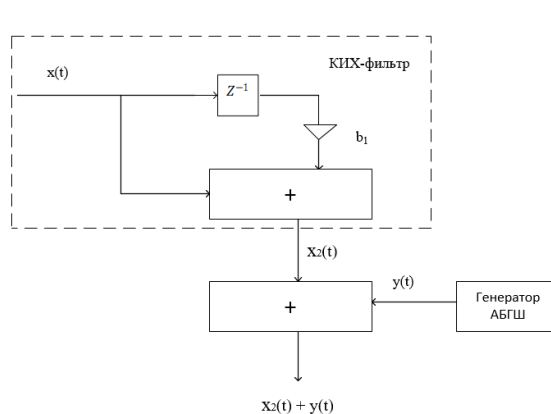


Рис. 2. Выходной сигнал КИХ-фильтра: $x(t)$ -передаваемый сигнал; $x_2(t)$ -двухлучевой сигнал; $y(t)$ -аддитивный белый Гауссовский шум; $x_2(t) + y(t)$ - двухлучевой сигнал с белым шумом

Как видно на рисунке 2, один луч прямой и не имеет задержки, а второй луч задержан на один отсчет сигнала, передаточная функция КИХ-фильтра будет выглядеть следующим образом:

$$H(z) = 1 + Z^{-1} * b_1. \quad (1)$$

В работе использовался эквалайзер на основе адаптивного фильтра, работающий на основе метода наименьших квадратов (LMS- Least mean squares). Выбор данного алгоритма обосновывается, тем что он экономнее по вычислительным затратам и нашёл, благодаря этому, широкое распространение [2].

Экспериментальные исследования были проведены в программе Simulink, где была собрана модель подвижной сети связи. Для проверки работоспособности системы сравним спектр сигнала после модулятора (рисунок 3) со спектром сигнала на выходе канала связи (рисунок 4), а также со спектром после адаптивного эквалайзера (рисунок 5).

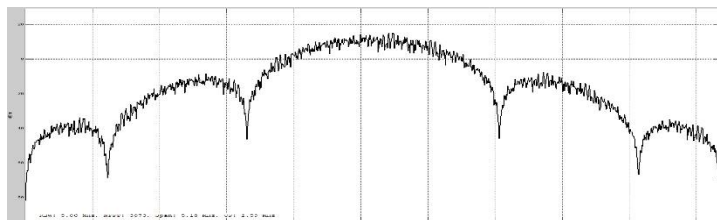


Рис. 3. Спектр сигнала после модулятора

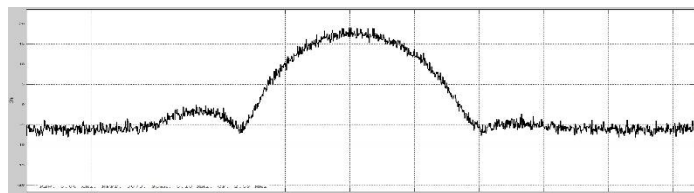


Рис. 4. Спектр сигнала после прохождения через канал связи

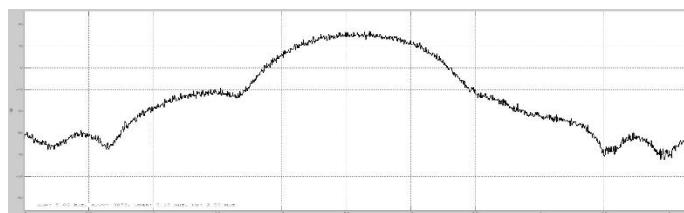


Рис. 5. Спектр на выходе адаптивного эквалайзера

Видим, что спектр сигнала после канала связи заметно искажается, адаптивный эквалайзер частично восстанавливает спектр передаваемого сигнала.

Также была исследована устойчивость системы к шуму, изменяя отношение сигнал-шум (ОСШ) в канале связи получим следующие экспериментальные данные (таблица 1):

Таблица 1. Зависимость вероятности битовой ошибки от ОСШ

SNR, дБ	0	1	2	3	4	5
P_b	0.0006525	0.0001305	$4.3 \cdot 10^{-5}$			

При отношении сигнал-шум в 3-5 дБ ошибок зарегистрировано не было, а значит вероятность стремится к нулю.

В результате работы была разработана модель эквалайзера и была произведена проверка его работоспособности, по графикам и таблице можно сказать об устойчивой настройке эквалайзера, и в целом о “правильности” работы системы.

Библиографический список

1. Джиган В.И. Адаптивная фильтрация сигналов: теория и алгоритмы: М: Техносфера, 2013. - 528с.
2. Сергиенко А.Б. Алгоритмы адаптивной фильтрации: особенности реализации в MATLAB // Exponenta Pro. – 2003. – №1(1). – 18-28 с.
3. Оборудование беспроводного радиодоступа в телефонную сеть общего пользования стандарта DECT. Руководство по эксплуатации ИЛГШ.464421.004РЭ.

УДК 621.396; ГРНТИ 49.29

ИССЛЕДОВАНИЕ НАСЫЩЕНИЯ ВЕРОЯТНОСТИ ОШИБКИ ДЛЯ РЕГУЛЯРНЫХ И НЕРЕГУЛЯРНЫХ LDPC КОДОВ

С.В. Ганин

*Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань, pxlakasi@yandex.ru*

Аннотация. В работе рассматривается класс низкоплотных блочных помехоустойчивых кодов, проблемы их использования а так же их возможные решения.

Ключевые слова: помехоустойчивое кодирование, низкоплотные коды (ldpc), насыщение вероятности ошибки (error floor).

STUDY THE SATURATION OF THE ERROR PROBABILITY FOR REGULAR AND IRREGULAR LDPC CODES

S.V. Ganin

*Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,
Russia, Ryazan, , pxlakasi@yandex.ru*

The summary. The paper considers the class of low-density block noise-immune codes, the problems of their use, as well as their possible solutions.

Keywords: error-correction coding, low-density codes(ldpc), the saturation of the probability of error (error floor).

Коды, определенные на разреженных двудольных графах, также известные как коды с низкой плотностью проверок на чётность (Low density parity check code), были изобретены Галлагером в его новаторской диссертации в 1963 году, но, к сожалению, были забыты до начала 21 века. Благодаря своему графическому представлению LDPC-коды хорошо подходят для итерационных алгоритмов декодирования с низкой сложностью.

Для любого типичного кода LDPC конечной длины при итеративном декодировании кривая вероятности ошибки на кадр (frame error rate, FER) состоит из двух отдельных областей: области «водопада» и области насыщения вероятности ошибки (НВО). В области водопада (рис. 1), которая является областью низкого отношения E_b/N_0 , частота ошибок значительно падает с увеличением отношения сигнал-шум, делая кривую похожей на водопад. С другой стороны, в области НВО (которая является областью высокого отношения сигнал-шум) уменьшение вероятности ошибок резко замедляется, и кривая имеет тенденцию к сглаживанию.

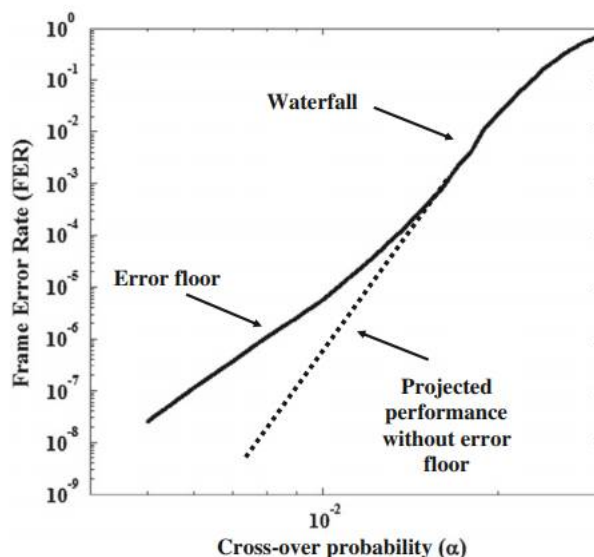


Рис. 1. Функция вероятности перехода α для BSC

Феномен НВО был впервые замечен Маккеем и Постолом, которые указали на «недостаток» кода Маргулиса (2640,1320).

Его проверочная матрица изображена на рисунке 2, точками на ней изображены единицы. Рисунок наглядно показывает насколько матрица является разреженной.

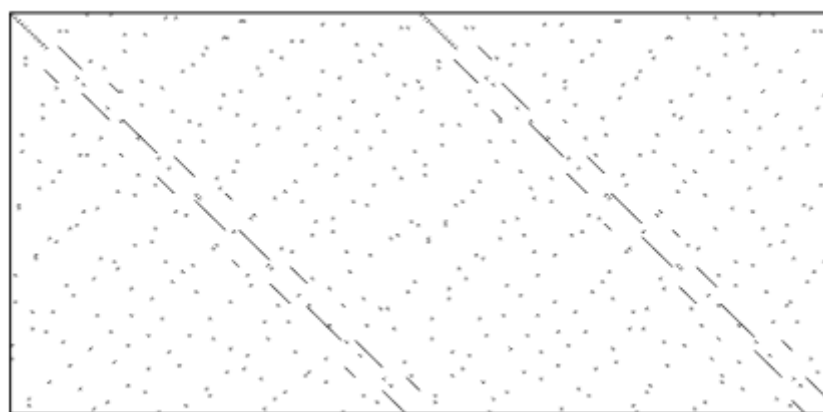


Рис. 2. Матрица проверки четности кода Маргулиса $N = 2640$

Этот феномен был приписан существованию кодовых слов: $A(w, v)$ кодовое слово – это двоичное слово веса – w , длины – n , приводящее к v неудовлетворенным проверкам. Ричардсон [3] ввел понятие наборов ловушек для описания конфигураций в графах Таннера кодов, вызывающих сбои конкретных схем декодирования: набор ловушек (w, v) – это набор W переменных узлов (VNs), который индуцирует подграф с v нечетными проверочными узлами

(CNs) (т. е. v неудовлетворенных проверок) и произвольным числом четных проверочных узлов. Поддержка близкого кодового слова (w, v) – это именно набор ловушек (w, v) . Исследователи обнаружили, что производительность LDPC-кодов с декодированием с помощью алгоритма распространения доверия в области с низкой вероятностью ошибок, определяется кратностью и структурой кодовых слов малого веса, или наборов ловушек, а не минимальным расстоянием кода.

Это связано с тем, что итеративные декодеры часто под влиянием определенных шумовых паттернов попадают в ловушку, из которой они не могут самостоятельно выйти при повторных итерациях.

Элементарное (w, v) множество ловушек – это множество ловушек, для которого все контрольные узлы в индуцированном подграфе имеют либо степень 1, либо степень 2. По результатам компьютерного моделирования, описанного в литературе [5], было замечено, что большинство наборов ловушек, которые оказывают сильное влияние на НВО, имеют элементарную форму. Кроме того, хотя проверочные узлы нечетной степени больше 1 возможны, их появление является маловероятными в небольших наборах ловушек, которые доминируют в НВО. Наборы ловушек могут быть классифицированы тремя классами в соответствии с их поведением.

1. Стабильный набор ловушек (также называемый набором ловушек с фиксированной точкой) – это наборы ловушек, который приводит к фиксированному уровню ошибок на выходе декодера. Выйти из такого состояния с помощью дополнительных итераций не представляется возможным.
2. Периодический набор ловушек – декодер периодически проходит через ряд различных паттернов ошибок по мере продолжения итераций декодирования. Другими словами, наблюдается периодический характер числа ошибок на выходе декодера в зависимости от номера итерации декодирования (рис. 3).

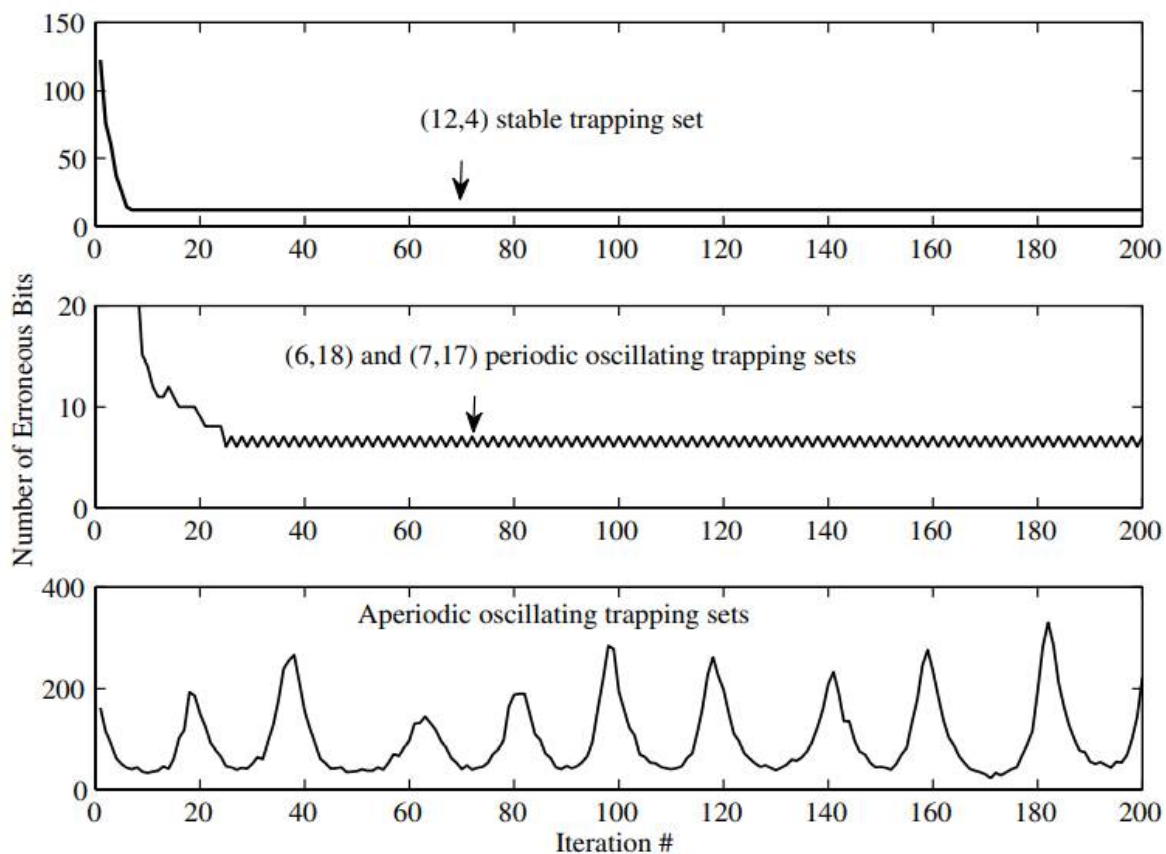


Рис. 3. Зависимости количества ошибок в зависимости от номера итерации декодирования

3. Аперидический осциллирующий (колеблющейся в своей интенсивности) набор ловушек – содержит паттерны ошибок, из которых ошибочные сообщения распространяются на ряд внешних переменных и демонстрируют случайный паттерн.

Построение графа Танера

Для построения приемлемого помехоустойчивого кода, необходимо исключить из него наборы ловушек, а именно произвести исключение запрещённых подграфов в графе Таннера. Эти наборы сильно влияют на характеристику кода, а так же его скорость. После определения набора запрещающих подграфов (что является самой сложной задачей) остается задача построить граф Таннера, свободный от этих подграфов.

В первом подходе, который применим только для структурированных кодов, подграф описывается системой линейных уравнений. Важно помнить, что проверочная матрица H структурированного кода обычно соответствует матрице алгебраической структуры, скажем W . Элементы W являются частными значениями переменных систем уравнений, описывающих подграф. Граф Таннера, соответствующий W , содержит данный подграф тогда и только тогда, когда элементы W образуют собственное решение хотя бы одной из этих линейных систем уравнений. Однако задача нахождения W такой, что ее элементы не образуют правильного решения ни одной из этих систем уравнений, не является простой. В работе [3] были аналитически построены коды LDPC, свободные от некоторых поглощающих множеств. Однако в этой работе рассматривается только класс регулярных кодов LDPC, известный как квазициклические коды, и ограниченное количество небольших поглощающих наборов.

Второй метод похож на алгоритм PEG [4] в том смысле, что граф Таннера строится постепенно. Однако, в отличие от алгоритма PEG, который строит граф Таннера с заданным набором параметров, при постепенном построении графов Таннера, свободных от наборов ловушек, длина обычно не указывается заранее. Построение основано на процедуре проверки и выбора или игнорирования. Так, например, в прогрессивной конструкции структурированных регулярных кодов LDPC, графы кода построены в r стадий, где r представляет собой вес строки H . r не задано заранее, и код создается с целью сделать скорость как можно более высокой. На каждом этапе вводится набор новых переменных узлов, которые изначально не связаны с проверочными узлами графа Таннера. Затем добавляются блоки ребер, чтобы соединить новые узлы переменных и проверочных узлов. После того, как блок ребер предварительно добавлен, граф Таннера проверяется, чтобы увидеть, не содержит ли он какой-либо нежелательный набор ловушек. Если это так, то этот блок ребер удаляется и заменяется другим блоком. Алгоритм продолжается до тех пор, пока ни один блок ребер не может быть добавлен без введения нежелательных наборов ловушек в граф Таннера.

Библиографический список

1. K.M. Krishnan, P. Shankar, Computing the stopping distance of a Tanner graph is NP-hard, IEEE Trans. Inf. Theory 53 (6) (2007) 2278–2280.
2. A. McGregor, O. Milenkovic, On the hardness of approximating stopping and trapping sets, IEEE Trans. Inf. Theory 56 (4) (2010) 1640–1650
3. A. Worthen, S. Hong, R. Gupta, W. Stark, Performance optimization of VLSI transceivers for low-energy communications systems, in: IEEE Military Communications Conference Proceedings MILCOM 1999, vol. 2, 1999, pp.
4. Ryan W. E, Shu Lin Channel Codes. Classical and Modern. – Cambridge: Cambridge University Press, 2009. – 692 с.

УДК 004.318; ГРНТИ 50.09.33

ПЛАТФОРМА ZYNQ – ПЕРЕДОВАЯ ЭЛЕМЕНТНАЯ БАЗА ЦИФРОВЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ

Н.С. Виноградов, С.В. Витязев

*Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань, nikita-vinogradov11@rambler.ru*

Аннотация. Осуществляется обзор элементной базы, используемой для цифровой обработки сигналов, описываются достоинства и недостатки. Приводятся критерии выбора элементной базы. Рассматриваются особенности и архитектура системы на кристалле Zynq.

Ключевые слова: цифровая обработка сигналов (ЦОС), программируемые логические интегральные схемы (ПЛИС, FPGA), цифровые сигнальные процессоры (DSP), усовершенствованная RISC-машина (ARM), система на кристалле (SoC).

ZYNQ PLATFORM - ADVANCED TECHNOLOGY FOR REAL-TIME EMBEDDED APPLICATIONS

N.S. Vinogradov, S.V. Vityazev

*Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,
Russia, Ryazan, nikita-vinogradov11@rambler.ru*

The summary. The review of the element base used for digital signal processing is carried out, their advantages and disadvantages are described. The criterion for selecting the element base is given. Features and architecture of the Zynq system-on-chip are considered.

Keywords: digital signal processing (DSP), Field-Programmable Gate Array (FPGA), digital signal processors (DSP), advanced RISC-machine (ARM), system on a chip (SoC).

Производительность системы ЦОС определяется несколькими факторами. Можно выделить два основных из них. Во-первых – это архитектура системы, которая подразумевает принципы взаимодействия между собой различных элементов системы ЦОС. Во-вторых – элементная база (элементы памяти, интерфейсов, периферии), однако основным показателем, определяющим производительность системы, является используемое ядро системы – микропроцессор – элемент, на основе которого строится вся система ЦОС и который главным образом участвует в реализации алгоритмов обработки сигналов. При выборе элементной базы для ЦОС необходимо учитывать особенности алгоритмов ЦОС. Можно выделить следующие особенности:

- Высокая скорость поступления данных, что подразумевает соответственно высокую скорость их обработки;
- Широкий динамический диапазон входных/выходных данных, вследствие чего разрядность каждого отсчета может составлять 16-32 бита или больше;
- Большое количество операций сложения, умножения и логических операций, которые должны быстро выполняться в реальном времени (с частотой поступления новых отсчетов);
- Необходимость обеспечения гибкости и перестройки системы ЦОС, изменения параметров обработки, коэффициентов фильтров и т.д. во время работы системы;
- Параллелизм алгоритмов, что способствует возможности увеличения скорости обработки сигналов;
- Регулярность алгоритмов, частое использование операций умножения с накоплением, БПФ и т.д., вследствие чего целесообразно создавать специализированные аппаратные блоки для конкретных алгоритмов, реализованные наиболее оптимальным образом, что позволит повысить эффективность системы ЦОС.

Элементная база, применяемая для ЦОС

В соответствии с рассмотренными особенностями алгоритмов цифровой обработки сигналов осуществляется выбор элементной базы. В настоящее время по базовому элементу, выполняющему цифровую обработку, системы ЦОС можно разделить на следующие группы[1]:

- система обработки сигналов на основе процессоров DSP (digital signal processors);
- система обработки сигналов на основе ПЛИС;
- система обработки сигналов на основе совместного использования ПЛИС и DSP;
- система обработки сигналов на основе SoC (system on chip – система на кристалле);
- система обработки сигналов на основе ASIC (Application Specific Integrated Circuits – специализированные интегральные схемы конкретного назначения).

Преимуществами систем обработки сигналов, построенных на основе DSP процессоров, являются гибкость системы, возможность реализации адаптивных и обучающихся алгоритмов. Кроме того, сами процессоры и средства их разработки и отладки имеют достаточно низкие цены. Вместе с тем, DSP имеют ряд недостатков, которые приходится учитывать при разработке систем ЦОС. Каждое семейство DSP имеет собственные коды команд, что значительно усложняет перенос реализованного алгоритма на сигнальные процессоры других семейств или создание универсальных библиотек алгоритмов. Также производительности большинства современных DSP, как правило, не хватает для однокристалльной реализации ЦОС и, как следствие, возникает необходимость построения многопроцессорных систем на базе однокристалльных DSP. Последнее вызывает трудности в сопряжении нескольких процессоров и отладке их функционирования в реальном масштабе времени. Также многокристалльные системы могут иметь достаточно большие габариты, что повышает требования к реализуемому оборудованию.

В настоящее время все чаще для алгоритмов ЦОС начинают применять ПЛИС с архитектурой FPGA (Field Programmable Gate Array) в качестве процессоров и сопроцессоров [2]. Архитектура FPGA обладает большой гибкостью и позволяет реализовать распараллеливание алгоритмов обработки данных и создавать архитектуру системы, наиболее оптимальную для конкретных алгоритмов ЦОС, что, в свою очередь, позволяет значительно повысить производительность системы. Недостатком ПЛИС является трудоемкость и сложность их программирования. Архитектура ПЛИС описывается с помощью языков описания аппаратуры (Verilog, VHDL).

Совместное использование ПЛИС и DSP позволяет реализовывать операции, требующие высокоскоростной обработки данных: в параллельном режиме – на ПЛИС, а операции, требующие высокоскоростной последовательной обработки – на DSP-процессорах. Гибкость аппаратуры ПЛИС позволяет организовать ускорение и параллельную обработку данных, а программирование на языках высокого уровня для DSP позволяет упростить написание и отладку сложных последовательных алгоритмов. К недостатку относится то, что необходимо налаживать взаимодействие между ПЛИС и DSP, так как они реализованы на разных кристаллах.

Системы SoC позволяют объединить в одном кристалле несколько базовых элементов системы. Так, фирма Xilinx предлагает платформу Zynq, которая основана на объединении одного или нескольких процессоров общего назначения (ARM) и ПЛИС на одном кристалле. Такой подход позволяет разнести задачи обработки сигналов между ARM и ПЛИС, что позволяет значительно повысить производительность системы. Благодаря тому, что система реализуема на одном кристалле и возможные способы взаимодействия элементов этой системы проработаны, то процесс разработки значительно упрощается и повышается эффективность системы.

Еще одной разновидностью SoC является реализация узлов системы на микросхемах класса ASIC. Решения на базе заказных микросхем ASIC обеспечивают высокую производи-

тельность при самых низких показателях энергопотребления и стоимости за единицу продукции. При этом существуют и значительные проблемы. Одной из таких проблем является высокая стоимость разработки и большие затраты времени. Для компенсации затрат на разработку требуются чрезмерно большие объемы реализации продукции. Другой проблемой является то, что данные микросхемы не обладают гибкостью, то есть изменение алгоритмов обработки сигналов может перечеркнуть все преимущества микросхем ASIC, так как они изначально разрабатываются для конкретных алгоритмов.

Система на кристалле Zynq, ее особенности и архитектура

Семейство Zynq-7000 представляет собой систему на кристалле (SoC) (рисунок), которая содержит следующие функциональные блоки: процессорную подсистему, включающую процессорный модуль (ПМ), интерфейсы памяти, периферийные интерфейсы и интерфейсы взаимодействия с программируемой логикой (ПЛ), а также саму ПЛ.

Процессорный модуль может состоять из одного или двух ядер ARM Cortex-A9 с тактовой частотой 1 ГГц. При наличии в системе Zynq-7000 двух ARM Cortex-A9, их взаимодействие осуществляется посредством межпроцессорных прерываний через общую область памяти путем передачи сообщений. Программируемая логика может быть основана на двух семействах ПЛИС фирмы Xilinx: Artix-7 или Kintex-7. Семейство Artix-7 имеет меньшую производительность и соответственно меньшее энергопотребление и является более бюджетным вариантом, а семейство Kintex-7 наоборот - большую производительность и энергопотребление.

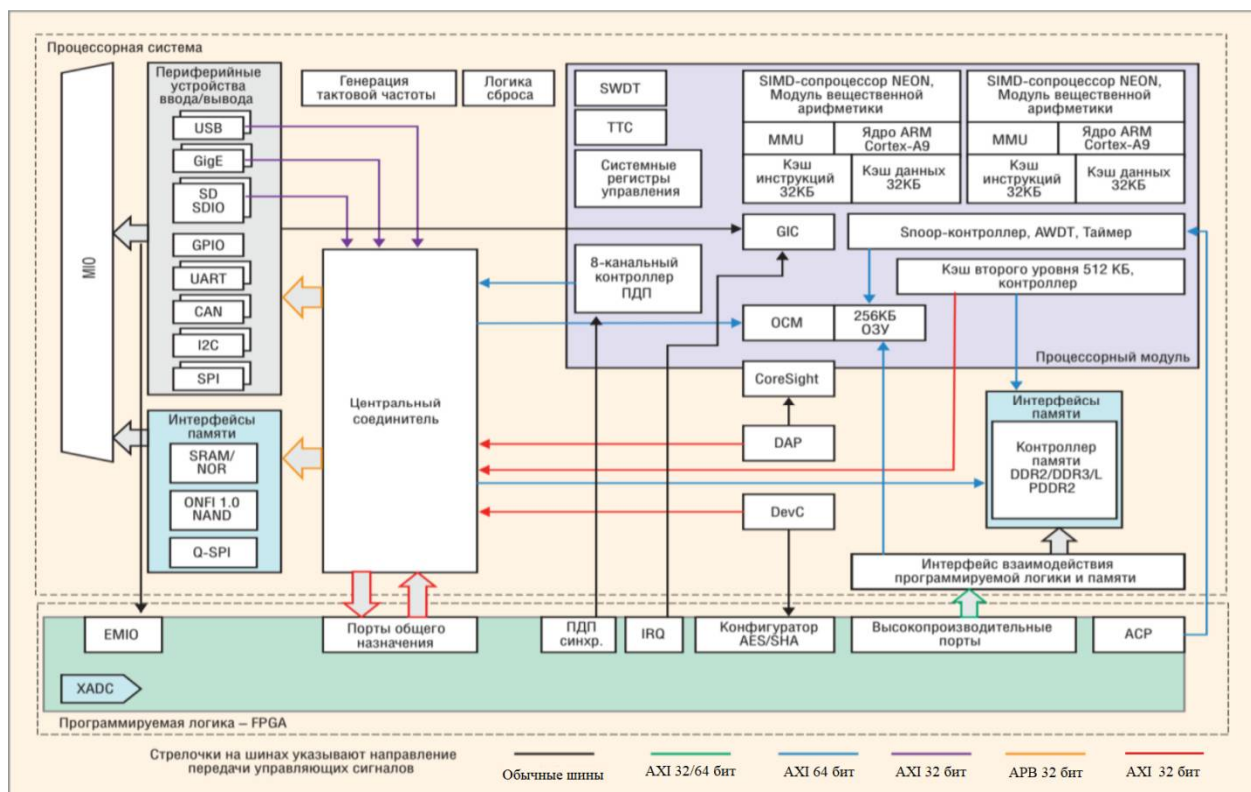


Рис. Структурная схема SoC семейства Zynq-7000

Взаимодействие между ПМ и ПЛ осуществляется с использованием интерфейса AXI (Advanced eXtensible Interface), обеспечивающего соединение с высокой пропускной способностью и малой задержкой. Для данных целей ПЛ имеет 9 AXI портов: 4 32-битных порта общего назначения, осуществляющих соединение между ПС и различными IP (intellectual property) блоками, реализованными на ПЛ, 4 32/64-битных высокопроизводительных на-

страиваемых порта, которые предоставляют ПЛ доступ к встроенной памяти и SDRAM через 4 независимых буфера FIFO размером 1 Кбайт, а также 64-битный порт AXI ACP, который напрямую подключен к блоку спонсор-контроллера и обеспечивает согласованный с кэш-памятью процессора доступ [3].

Стоит отметить, что эффективность системы ЦОС также зависит от наличия высокоскоростной памяти и ее объемов. Каждый из процессоров ARM Cortex-A9 в системе Zynq-7000 имеет свою собственную кэш-память L1 размером 64 Кб (32 Кб отведено под коды команд, а оставшиеся 32 Кб – под данные). Кэш-память L2 является общей для двух процессоров и составляет 512 Кб. Также предусмотрено встроенное ОЗУ размером 256 Кб. Помимо этого с использованием контроллера памяти предусмотрена возможность подключения внешней памяти типа DDR2/DDR3/LPDDR2.

Энергопотребление является важным аспектом любой системы ЦОС. Система Zynq-7000 имеет несколько режимов пониженного энергопотребления. Стоит отметить, что ПМ и ПЛ имеют различные цепи питания, что позволяет отключать блок ПЛ во время простоя для экономии энергопотребления. Также возможно динамическое управление тактовой частотой процессоров, что позволяет ядрам ARM Cortex-A9 работать с пониженной тактовой частотой до 30 МГц. В дополнение к этому в режиме одиночного процессора возможно отключение одного из двух ядер ARM Cortex-A9. Все это позволяет значительно снизить энергопотребление системы во время ее работы, что является значительным достоинством системы Zynq-7000.

ЦОС, как правило, реализуется на ПЛИС Artix-7 (Kintex-7) из-за возможности распараллеливания алгоритмов, что обеспечивает высокие скорости обработки данных [4]. ПЛИС содержит конфигурируемые логические блоки (CLB), конфигурируемые двухпортовые блоки памяти (BRAM) и ячейки DSP с 25х18 – битным умножителем, 48-битным аккумулятором и предварительным сумматором [5]. Наличие данных функциональных блоков обеспечивают эффективную реализацию ЦОС. Последовательные же алгоритмы могут выполняться на процессорах ARM Cortex-A9 с тактовой частотой 1 ГГц, а благодаря расположению процессоров и ПЛИС на одном кристалле обмен данными между ними значительно ускоряется и упрощается. Также для реализации алгоритмов ЦОС на процессорном модуле может применяться сопроцессор NEON, который значительно ускоряет вычисления.

Реализация БПФ на кристалле Zynq

В [6] рассматривается реализация алгоритма БПФ на ресурсах Zynq тремя различными способами: на ARM Cortex-A9, на сопроцессоре NEON и на ПЛИС. Порядок БПФ берется равным 4096 отсчетов, отсчеты в формате floating-point (32 бита). По результатам реализации были получены следующие данные, приведенные в таблице.

Таблица. Время выполнения БПФ-4096 на кристалле Zynq

Используемые ресурсы Zynq	ARM Cortex-A9	Сопроцессор NEON	ПЛИС Artix-7 (Kintex-7)
Время выполнения БПФ, мкс	830	571	90

Для сравнения можно привести результат реализации БПФ на сигнальном процессоре TMS320C6678 фирмы Texas Instruments, который описывается в [7]. Для БПФ порядка 4096 с отсчетами в формате floating-point и тактовой частотой процессора 1 ГГц время выполнения составляет 125 мкс.

С учетом того, что ARM Cortex-A9 не является DSP процессором, его результативность достаточно высока. Также стоит отметить, что ARM Cortex-A9 является процессором общего назначения и может использоваться для работы с операционной системой, управления функционированием всей системой Zynq и других задачах. При этом с использованием

ПЛИС Artix-7 (Kintex-7) можно добиться большей производительности в задачах ЦОС, чем на сигнальном процессоре TMS320C6678.

Таким образом, система на кристалле Zynq является эффективной платформой для решения различных задач ЦОС. Однокристальное размещение процессорного модуля, программируемой логики и интерфейсов их взаимодействия обеспечивает высокую производительность устройства, удобство реализации алгоритмов и их отладки.

Библиографический список

1. Кремис И.И. Обзор отечественных модулей цифровой обработки сигналов многоэлементного фото-приемного устройства ИК-диапазона // Прикладная физика №6/2010
2. Черемисин А.Г. Оценка эффективности применения ПЛИС и процессоров DSP для задач цифровой обработки сигналов // Научно-технический вестник Санкт-Петербургского государственного университета информационных технологий, механики и оптики №32/2006
3. A generation Ahead for Smart Systems: 9 reasons why the Xilinx Zynq-7000 All Programmable SoC Platform is the Smartest Solution - Xilinx Background - 2014
4. Палагин А.В., Яковлев Ю.С. Особенности проектирования компьютерных систем на кристалле ПЛИС // Математические системы и машины №2/2017
5. Многоядерная конфигурируемая вычислительная платформа Zynq-7000 // Современная электроника №1/2013
6. Software Acceleration for DSP Functions with Zynq-7000 SoC – Xilinx – URL: <https://www.xilinx.com/video/hardware/software-acceleration-dsp-functions-with-zynq-7000.html>
7. Aleksei Kharin, Sergey Vityazev, Vladimir Vityazev, Naim Dahnoun Parallel FFT implementation on TMS320C66X multicore DSP // Proceedings of the 6th European Embedded Design in Education and Research - 2014

УДК 621.396.6; ГРНТИ 49.27.31

СОВМЕСТИМЫЕ ПО СКОРОСТИ LDPC КОДЫ НА ОСНОВЕ ПРОТОГРАФОВ

А.П. Кондратьев

*Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань, et3rnyended112@gmail.com*

Аннотация. В работе рассматриваются основные варианты адаптации скорости кодирования для LDPC кодов. Приводится принцип работы, назначение, достоинства и недостатки данных процедур. Рассматривается пример применения адаптации скорости кодирования с расширением проверочной матрицы для LDPC кодов на основе протографов.

Ключевые слова: кодирование, LDPC код, процедура выкалывания, протограф, адаптация с расширением.

RATE-COMPATIBLE PROTOGRAPH-BASED LDPC CODES

A.P. Kondratyev

*Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,
Russia, Ryazan, et3rnyended112@gmail.com*

The summary. This paper considers the main options for adapting the code rate for LDPC codes. The principle of operation, the purpose, advantages and disadvantages of these procedures are given. An example of application of code rate adaptation with extending parity-check matrix for protograph-based LDPC codes is considered.

Keywords: coding, LDPC code, puncturing procedure, protograph, adaptation with extension.

Современные телекоммуникационные системы имеют разные требования к помехоустойчивости [1]. Масштабируемые видео и аудиокоды приводят к получению данных с разными приоритетами, т.е. разные типы данных требуют различного уровня избыточности. Это

гарантирует, что важная информация останется неискаженной в несколько более неблагоприятных условиях канала.

Адаптация возможностей исправления ошибок кодов в этих системах является важной проблемой. Выколотые свёрточные коды Хагенауэра были первыми кодами, благодаря которым эту проблему можно было решить. С появлением схем кодирования, обеспечивающих максимальную пропускную способность, такие подходы пришлось расширить для турбо кодов, LDPC кодов и Rateless кодов [1].

Базовая концепция совместимых по скорости LDPC кодов (rate-compatible LDPC, RC-LDPC) описывается как процедура выкалывания: при кодировании некоторые биты четности не передаются (это «выколотые» биты), а декодер обрабатывает переданные биты как биты стирания [1]. Поскольку декодер для самой низкой скорости (базовый код) совместим с декодером для других, более высоких скоростей, совместимый по скорости выколотый код не требует дополнительной сложности для адаптации скорости [2].

При рассмотрении реализаций интегральных схем для конкретных приложений объем памяти для проверочной матрицы должен быть небольшим [1]. Случайно выбранный LDPC код из хорошего распределения степеней может иметь хороший порог, но высокую стоимость хранения. Таким образом, практические ограничения реализации делают привлекательными структурированные LDPC коды. Например, базовое представление основанного на протографе LDPC кода может быть задано небольшим протографом вместе с соответствующим образом выбранными циркулянтными матрицами.

Для достижения полной совместимости по скорости можно использовать другой подход, основанный на адаптации скорости с расширением проверочной матрицы [3]. Расширение кода начинается с высокоскоростного кода (дочернего кода), затем коды с более низкой скоростью получаются путем расширения матрицы проверки на четность дочернего кода (протографа).

Основные положения RC-LDPC кодов на основе процедуры выкалывания

При рассмотрении процедуры выкалывания, задача ставится следующим образом [2]. Переменные узлы двудольного графа могут быть сгруппированы в соответствии с их степенями ребер. Таким образом, все закодированные символы со степенью ребра j принадлежат группе, которая обозначается как G_j для $1 \leq j \leq d_v$. Случайным образом выкалывается часть $\pi_j^{(0)}$ символов в G_j , где $\pi_j^{(0)}$ определяется с помощью оптимизации. $p^{(0)}$ определяется как полная доля выкалывания, а именно $p^{(0)} = (\text{количество выколотых переменных узлов}) / (\text{количество переменных узлов})$. Таким образом, в последовательности степеней распределения $\lambda(x)$ и $\rho(x)$ включается распределение выкалывания $\pi_j^{(0)}$, где [2]

$$\pi^{(0)}(x) = \pi_2^{(0)}x + \pi_3^{(0)}x^2 + \dots + \pi_{d_v}^{(0)}x^{d_v-1}, \quad (1)$$

а также $0 \leq \pi_j^{(0)} \leq 1$. Доля выкалывания $p^{(0)}$ выражается как [2]

$$p^{(0)} = \frac{\sum_{j=2}^{d_v} \pi_j^{(0)} n_j}{n} = \frac{\sum_{j=2}^{d_v} \pi_j^{(0)} \lambda_j / j}{\sum_{j=2}^{d_v} \lambda_j / j} = \sum_{j=2}^{d_v} \lambda_j' \pi_j^{(0)}, \quad (2)$$

где $n_j = |G_j|$ и $n = \sum_{j=2}^{d_v} |G_j|$. Скорость выколотых LDPC кодов, заданных распределениями $\lambda(x)$, $\rho(x)$, $\pi^{(0)}(x)$, определяется как $R(\lambda, \rho, \pi^{(0)}) = R(\lambda, \rho) / (1 - p^{(0)})$. Ансамбль LDPC кодов,

используемый в передаче данных в канале с АБГШ и смешанном канале, является частным случаем, выраженным распределениями [2]

$$(\lambda(x), \rho(x), O(x)) \text{ и } (\lambda(x), \rho(x), e^{(0)} I(x))$$

соответственно, где

$$O(x) = \sum_{j=2}^{d_v} 0 \cdot x^{j-1}, \quad (3)$$

$$I(x) = \sum_{j=2}^{d_v} x^{j-1}, \quad (4)$$

$e^{(0)}$ – равномерная плотность распределения вероятности выкалывания/стирания.

LDPC коды на основе протографов

Протографом является относительно небольшой двудольный граф, из которого больший граф может быть получен с помощью процедуры копирования и перестановки: протограф копируется Q раз, а затем края отдельных реплик переставляются среди Q реплик, чтобы получить один большой двудольный граф. Когда протограф имеет n_p переменных узлов и m_p проверочных узлов, производный граф будет состоять из $n = n_p Q$ узлов переменных и $m_c = m_p Q$ проверочных узлов. Этот процесс расширения меньшего графа в более крупный граф путем соединения копий меньшего графа иногда называют подъемом.

На рисунке 1 [4] представлен протограф (слева) и граф Таннера (справа), полученный из протографа путем замены каждого узла протографа связкой из Q узлов и каждого ребра протографа связкой из Q ребер. Соединения между связками узлов через связки ребер задаются с помощью $Q \times Q$ матрицы π_{ij} , как показано на рисунке 1. Таким образом, каждый переменный узел j становится связкой узлов переменных типа j , а каждый проверочный узел i становится связкой узлов проверки типа i .

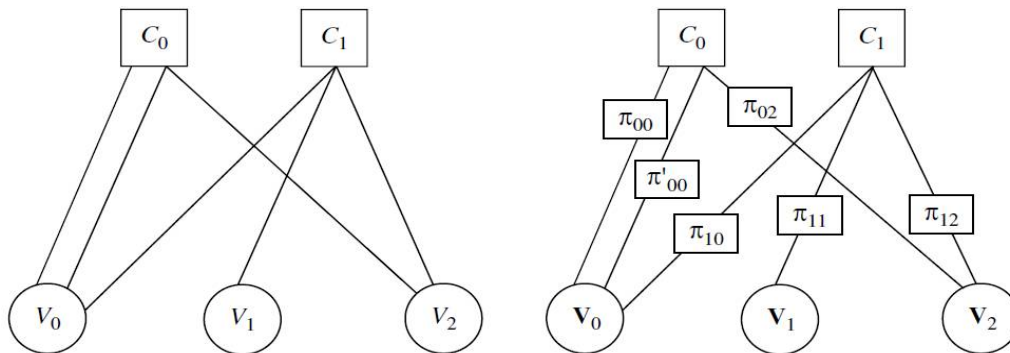


Рис. 1. Пример протографа (слева) и графа Таннера, полученного путём копирования и перестановок [4]

Матрица смежности для протографа, иногда называемая базовой матрицей, задается [4]

$$B = \begin{bmatrix} 2 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}, \quad (5)$$

где запись «2» означает два параллельных ребра между узлами C_0 и V_0 , а запись «0» означает отсутствие ребра между узлами C_0 и V_1 . При $Q = 3$ возможной матрицей H , полученной из B , является [4]

$$H = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad (6)$$

где матрицы перестановок π_{00} и π'_{00} были выбраны так, чтобы H была проверочной матрицей, а соответствующий ей граф Таннера не содержал параллельных ребер. Поскольку между V_0 и C_0 есть параллельные ребра, сумма π_{00} и π'_{00} появляется как циркулянтная подматрица в верхнем левом углу H .

Адаптация с расширением RC-LDPC кодов на основе протографа

Семейство совместимых по скорости кодов создается на основе адаптации с расширением проверочной матрицы H высокоскоростного кода протографа на равное количество переменных узлов и проверочных узлов, обеспечивая то, что новый код имеет тот же размер информационного блока [3]. Проверочная матрица $H_{1/2}$ кода со скоростью $1/2$ расширена для создания $H_{1/3}$, которая, в свою очередь, расширена для получения $H_{1/4}$. Нулевые подматрицы гарантируют, что узлы инкрементных переменных действительно являются новыми битами четности, определяемыми только новыми уравнениями проверки четности, тем самым гарантируя, что высокоскоростной код вложен в низкоскоростной код.

Можно начать с любого высокоскоростного кода, чтобы построить последовательный набор низкоскоростных кодов. Отправной точкой для построения является код протографа со скоростью $5/6$, матрица проверки на четность которого представлена в [3]. Поскольку к протоматрице добавляется равное количество столбцов и строк, коды с более низкой скоростью, полученные из кода со скоростью $5/6$, имеют скорости $R = (19 - 4) / (19 - 1 + n) = 15 / (18 + n)$, где n - количество проверок и добавленных переменных. В качестве характерной выборки в [3] концентрируются на поиске $n = 2$, что дает код со скоростью $R = 15 / 20 = 0.75$.

Проблема состоит в том, чтобы найти ребра, которые соединяют старый граф (код со скоростью $5/6$) с 2 новыми проверочными узлами и переменными узлами. Неизвестные ребра представлены переменными x_i , y_i и z , которые делятся на два типа. Первый тип ребра соединяет переменные старого графа с новыми проверками. Другой тип состоит из ребер, которые соединяют новые переменные узлы с новыми проверочными узлами, что обозначается переменной z в подматрице в правом нижнем углу.

Процесс оптимизации упрощается за счет дальнейшего ограничения максимального количества параллельных ребер. Результирующий протограф со скоростью 0.75 имеет порог итеративного декодирования 1.706 дБ с разрывом всего 0.078 дБ до пропускной способности. Далее можно сгенерировать семейство совместимых по скорости кодов, со скоростями в диапазоне от 0.32 до 0.88 на основе протографа со скоростью $5/6$. Чтобы получить как можно больше низкоскоростных кодов, добавляется только один переменный узел и один проверочный узел. Эти коды имеют скорости $R = 15 / (19 - 1 + n)$, $n = 1, \dots, 28$, т.е. скорости от $15/46 = 0.32$ до $5/6 = 0.83$. Протограф со скоростью 0.88 ($15/17$) получается путем выкалывания узла переменной степени 1 в структуре протографа со скоростью $5/6$. Протоматрица кода с наименьшей скоростью ($R = 15/46$) в этой совместимой по скорости структуре приведена в [3], из её могут быть выведены все остальные протоматрицы.

Производительность RC-LDPC кодов на основе протографа показана на рисунке 2.

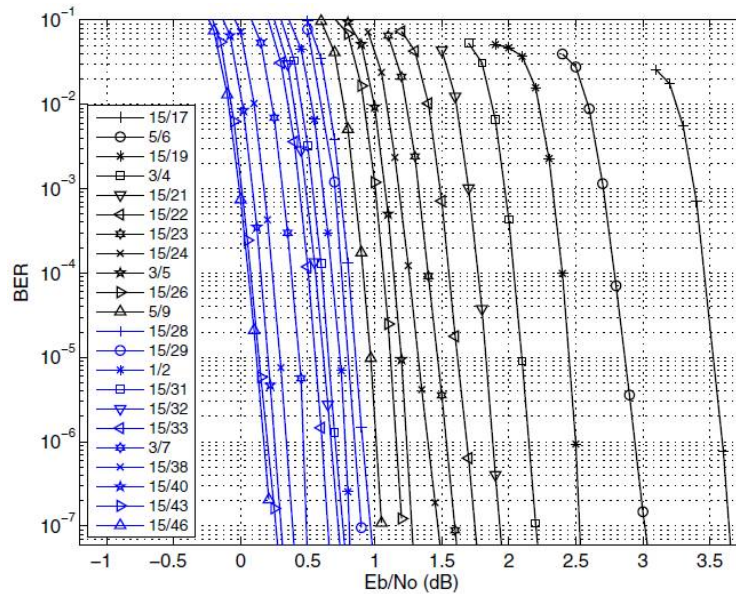


Рис. 2. Зависимости отношения битовой ошибки для RC-LDPC кодов [3]

Достоинства и недостатки процедур адаптации скорости

Процедура выкалывания приводит к небольшой потере производительности по отношению к порогу, а именно, выколотый код является хорошим (с точки зрения порога) в диапазоне скоростей по сравнению с оптимальными кодами для каждой скорости. Как сказано выше, выкалывание позволяет реализовать один «материнский» кодер и декодер, который работает в широком диапазоне скоростей.

Этот подход прост, но не лишен проблем [3]:

1. Материнский код оптимально спроектирован для низких скоростей, поэтому выколотые коды с более высокими скоростями имеют пороги итеративного декодирования с более широким интервалом для пропускной способности, чем у материнского кода;
2. Оптимальная структура кода с низкой скоростью и шаблоны выкалывания разрабатываются отдельно, что является неоптимальным.

К тому же, проблема выкалывания возникает при более высоких скоростях, где большой процент выколотых битов (стирания) парализует итеративный декодер мягкого решения [5].

Чтобы исправить это, в [5] используется подход, основанный на выкалывании и расширении для создания последовательности RC-LDPC кодов. Однако, этот способ требует кропотливой оптимизации, и кроме того кодер для этого способа неструктурирован и поэтому вычислительно сложный.

Совместимые по скорости коды на основе протографов могут достигать очень хороших пороговых значений с низкой сложностью кодирования, допускаемой циркулянтными перестановками. Некоторые из этих кодов, рассмотренные в различной литературе, обладают достаточно хорошими характеристиками, однако их проектирование осуществляется методом проб и ошибок и, следовательно, требует много времени [3]. В некоторых проектах вручную манипулируют внутри заданной структуры или используют методы разделения узлов и роста ребер. Кроме того, ручное проектирование делает непрактичным использование протографов большего размера, которые необходимы для реализации широкого диапазона скоростей, а также для повышения производительности.

Библиографический список

1. Declercq D., Fossorier M., Biglieri E. Channel Coding. Theory, Algorithms, and Applications. – Oxford: Academic Press Library in Mobile and Wireless Communications, 2014. – 667 с.
2. Jeongseok Ha, Jaehong Kim, and Steven W. McLaughlin “Rate-Compatible Puncturing of Low-Density Parity-Check Codes” IEEE Trans. on Inform. Theory, vol. 50, no. 11, Nov. 2004.
3. Thuy Van Nguyen, Aria Nosratinia, and Dariush Divsalar, “The Design of Rate-Compatible Protograph LDPC Codes” IEEE Transactions on Communications, vol. 60, no. 10, Oct. 2012.
4. Ryan W. E, Shu Lin Channel Codes. Classical and Modern. – Cambridge: Cambridge University Press, 2009. – 692 с.
5. M. R. Yazdani and A. H. Banihashemi, “On construction of rate-compatible low-density parity-check codes,” IEEE Commun. Lett., vol. 8, no. 3, pp. 159–161, Mar. 2004.

УДК 621.397.62; ГРНТИ 47.47

МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ЧАСТОТНОГО РАССОГЛАСОВАНИЯ ПРИ ПРИЕМЕ OFDM-СИГНАЛОВ

Т.А. Чигрина

*Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань, tchigrinatanya@yandex.ru*

Аннотация. в работе рассматриваются методы оценки частотного рассогласования. Приводятся их основные особенности, достоинства и недостатки.

Ключевые слова: мультиплексирование с ортогональным частотным разделением каналов (OFDM).

METHODS FOR ESTIMATING FREQUENCY MISMATCH WHEN RECEIVING OFDM SIGNALS

T.A. Chigrina

*Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,
Russia, Ryazan, tchigrinatanya@yandex.ru*

The summary. methods for estimating frequency mismatch are considered in this paper. Their main features, advantages and disadvantages are given.

Keywords: orthogonal frequency division multiplexing (OFDM).

При построении современных телекоммуникационных систем широко распространена технология OFDM. Когда происходит прием OFDM-сигналов, точная синхронизация приемника и передатчика очень важна. Благодаря этому возможно значительно повысить помехоустойчивость системы. В настоящее время существует алгоритм, который можно разделить на две группы: анализ сигнала во временной и в частотной областях. OFDM-система характеризуется высокой чувствительностью по отношению к частотным рассогласованиям, которые приводят к ухудшению ортогональности поднесущих сигнала на приемной стороне и ведут к снижению качества работы системы передачи. Поэтому распространенными способами оценки частотного рассогласования являются методы синхронизации. В данной статье представлены методы синхронизации, основанные на циклическом префиксе и с помощью вспомогательных символов.

Помимо определенного количества достоинств в системах связи на основе OFDM имеется и ряд недостатков. Для высокой спектральной эффективности, устойчивой работы и упрощения процесса разработки приемников и передатчиков OFDM-систем необходимо учитывать вопросы рассогласований сигнала [1].

Чтобы оценить частотное рассогласование, можно воспользоваться методами, которые основаны на циклическом префиксе и вспомогательных символах.

Метод оценки частотного рассогласования на основе циклического префикса

Выражение (1) описывает оценку частотного рассогласования, которое отражает точно при использовании циклического префикса:

$$\hat{\varepsilon} = \frac{1}{2\pi} \arg \left\{ \sum_{n=-N_g}^{-1} y_l(n) y_l^*(n+N) \right\}, \quad (1)$$

где N_g – число поднесущих защитного интервала в частотной области;

$y_l(n)$ – принятый сигнал после прохождения n -го символа;

$y_l^*(n+N)$ – операция свертки [3].

Аргумент функции (1) принимает значения в $(-\pi; \pi)$ диапазоне, в связи с этим диапазон оценок частотного рассогласования ограничивается величиной $|\hat{\varepsilon}| < 0,5$.

Данный метод достаточно прост, не требует дополнительной информации, однако имеет узкий диапазон [1].

Метод оценки частотного рассогласования с помощью вспомогательных символов

По тому же принципу можно определить оценку частотного рассогласования с помощью вспомогательных символов путем передачи в преамбуле двух одинаковых OFDM-символов [2]. В выражении (2) показана связь N -точечных преобразований Фурье от двух одинаковых символов в составе преамбулы:

$$y_2(n) = y_1(n) e^{j2\pi\varepsilon n/N} = IDFT\{Y_2(k)\} = IDFT\{Y_1(k) e^{j2\pi\varepsilon k}\}, \quad (2)$$

где ε – нормированная оценка частотного рассогласования;

$IDFT\{\}$ – операция обратного дискретного преобразования Фурье.

Из выражения (2) следует выражение (3) для определения частотного рассогласования, которое основано на спектральных представлениях двух одинаковых символов в составе преамбулы:

$$\hat{\varepsilon} = \frac{D}{2\pi} \arctan \left\{ \frac{\sum_{k=0}^{N-1} \text{Im}(Y_1(k) \cdot Y_2^*(k))}{\sum_{k=0}^{N-1} \text{Re}(Y_1(k) \cdot Y_2^*(k))} \right\}. \quad (3)$$

Аналогично случаю, описываемому в выражении (2), выражении (3) также определяет частотное рассогласование в диапазоне относительных рассогласований $|\hat{\varepsilon}| < 0,5$.

Чтобы увеличить диапазон однозначной оценки частотного рассогласования, нужно снизить длину сравниваемых блоков из выражения (2). В связи с тем, что может быть в составе преамбулы находится периодическое повторение D блоков, то, учитывая, что N/D – целое, выражение (1) примет вид:

$$\hat{\varepsilon} = \frac{D}{2\pi} \arg \left\{ \sum_{n=0}^{N/D-1} y_l(n) y_l^*(n+N/D) \right\}. \quad (4)$$

Тогда диапазон оценки частотного рассогласования $|\hat{\varepsilon}| < D/2$. В связи с таким расширением диапазона частотного рассогласования пропорционально будет снижаться и помехоустойчивость оценки (4), что является явным недостатком [3]. Еще одним недостатком, несмотря на то, что данный метод также прост и обеспечивает точность результатов, является необходимость добавления дополнительных символов [2].

На рисунке 1 представлены зависимости нормированной среднеквадратичной ошибки, полученных оценок частотного рассогласования методами на основе циклического префикса и с помощью вспомогательных символов:

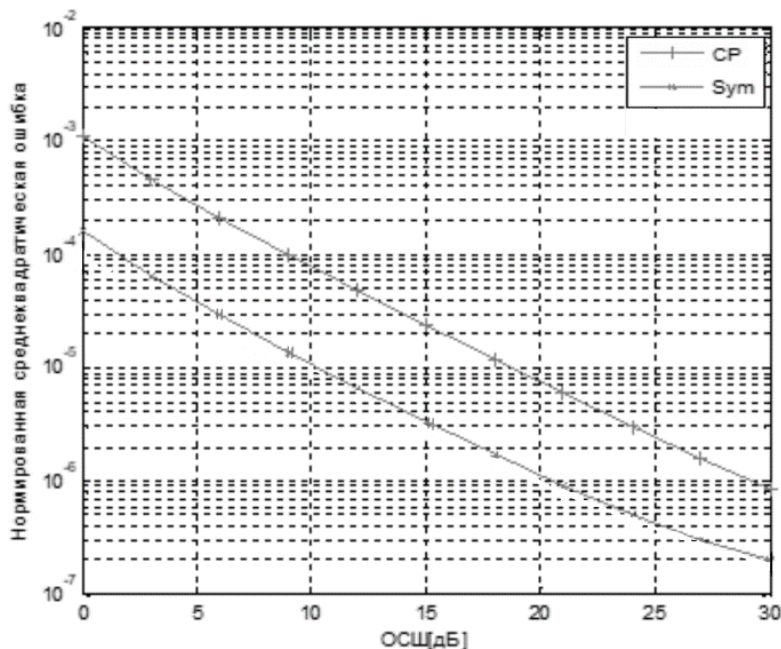


Рис. 1. Зависимости нормированной среднеквадратичной ошибки получаемых оценок частотного рассогласования по алгоритмам

По полученным графикам видно, что наилучшим методом по качеству оценки частотного рассогласования обладает метод вспомогательных символов, поскольку данный метод обеспечило лучшее отношение сигнал-шум на 6 дБ по сравнению с методом на основе циклического префикса [3].

Библиографический список

1. Бакулин, М.Г., Крейнделин, В.Б., Шлома, А.М., Шумов, А.П. Технология OFDM. Учебное пособие для вузов [Текст] / М.Г. Бакулин, В.Б. Крейнделин, А.М. Шлома, А.П. Шумов – М.: Горячая линия – Телеком, 2016 – 352 с.
2. Синхронизация OFDM-сигналов во временной и частотной областях: Учеб. пособие / К. С. Калашников, Б. И. Шахтарин. – Рязань: изд-во РГРТУ. – 2015.
3. Бакке В., Лукашин И. В. Применение символов с частотной модуляцией для совместной оценки временного и частотного рассогласования при приеме OFDM-сигнала [Текст] / В. Бакке, И. В. Лукашин // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. - 2016. - №56. - С.17-23

УДК 004.318; ГРНТИ 50.09.33

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПРОЦЕССОРА OMAP-L138

П.В. Катков

*Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань, super.barada5@yandex.ru*

Аннотация. В данной работе рассматривается отладочная платформа на базе процессора OMAP-L138. Приводятся основные особенности, достоинства и недостатки.

Ключевые слова: процессор, цифровые сигнальные процессоры (ЦСП), цифровая обработка сигналов (ЦОС), платформа.

RESEARCH OF OMAP-L138 PROCESSOR FEATURES

P.V. Katkov

*Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,
Russia, Ryazan, super.barada5@yandex.ru.*

Abstract. In this work we will consider debugging platform based on the OMAP-L138 processor. The main features, advantages and disadvantages are presented.

Keywords: processor, digital signal processors (DSP), digital signal processing (DSP), platform.

В современном мире многие небольшие IT-компании начинают быстро развиваться. Их стремительность роста обосновано тем, чтобы преуспеть за компаниями-гигантами. Но, к сожалению, они не всегда добиваются этого. В большей степени из-за недостатка средств на дорогое необходимое оборудование для разработки программного и аппаратного обеспечения. Недорогим, но в то же время практичным решением будет приобретение масштабируемой платформы Processor SDK RTOS. Данное решение облегчит и ускорит разработку программного и аппаратного обеспечения повседневных приложений, требующих обработки сигналов в реальном времени и функционального управления, включая промышленное управление, медицинскую диагностику и связь.

Данная платформа выбрана не случайно. Платформа базируется на процессоре OMAP-L138. Именно он представляет большой интерес, т.к. содержит два ядра – ARM926 и DSP C674x, а также необходимую периферию для создания компьютеров: набор последовательных и параллельных интерфейсов, модули поддержки аудио и видеоподдержки, часы реального времени.

В статье задача поставлена следующим образом: необходимо запустить ядро DSP C674x с ядра ARM926, задействовав тем самым их сильные стороны. Решением данной задачи будет изучение и исследование обеих ядер, понимание того, как они работают и функционируют, какие возможности у них есть. Это достигается путём изучения методических указаний и их практического применения. На основе этих исследований можно будет начать работу по совместному использованию этих ядер.

Далее можно будет сравнивать время цифровой обработки сигналов (ЦОС), например быстрое преобразование Фурье, у ARM и DSP ядер по отдельности, а также, для ускорения процесса обработки сигналов, обеспечить параллельную работу ядер.

Работа будет проводиться на языке программирования Linux, на операционной системе (ОС) Ubuntu.

Цифровые сигнальные процессоры (ЦСП) широко применяются для реализации различных алгоритмов ЦОС [1]. Процессор OMAP-L138 представляет собой так называемую «систему на кристалле» [2]. Преимущество ЦСП по сравнению с другими устройствами заключается в аппаратной реализации простых операций, таких как умножение, сложение и сдвиг.

Использование ассемблера для этой платы в проекте не оправдано, поэтому лучше использовать язык C в традиционном подходе к реализации, а для увеличения производи-

тельности системы при необходимости использовать так называемые «ассемблерные вставки» [3].

Помимо использования классических подходов к реализации может быть использовано новое направление с использованием встраиваемых ОС. В то же время в случае использования системы на кристалле на DSP процессор может быть установлен BIOS, который позволяет управлять памятью и распределять его задачи. Кроме того, на AMR процессор может быть установлена одна из двух ОС: Linux или Windows Embedded CE.

Функциональная схема процессора представлена на рисунке.

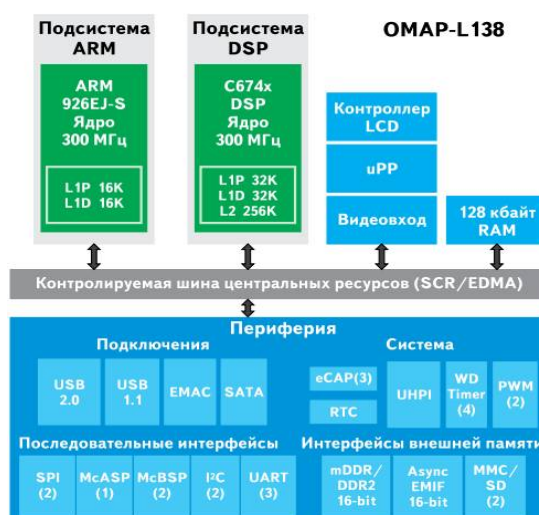


Рис. Функциональная схема процессора OMAP-L138

По функциональной схеме процессора можем заметить, что это готовый мини компьютер. А если подключить к ней клавиатуру и монитор разработчик получит полноценную Linux машину, так как в память NAND Flash, размещенную непосредственно на отладочной плате, уже загружены образы ядра и файловой системы. Установка ОС, а также наличие других интерфейсов позволяет решать любые задачи, доступные обычному персональному компьютеру.

ARM подсистема состоит из:

- 32-разрядный RISC-процессор ARM926EJ-S, который работает на частоте 300МГц;
- 16 Кбайт под кэш-память команд;
- 16 Кбайт под кэш-память данных;
- Внутренняя память ARM, включает в себя: оперативная память на 8 Кбайт и ПЗУ - 64 Кбайт;
- Буфер трассировки.

Эта подсистема предназначена для использования в многозадачных приложениях, для которых управление памятью, низкое энергопотребление и высокая эффективность имеют большое значение. [4].

В подсистему DSP входят:

- Ядро TMS320C674x, которое работает на частоте 300 МГц;
- Кэш-память команд на 32 Кбайт;
- Кэш-память данных на 32 Кбайт;
- Оперативную память – 256 Кбайт;
- Постоянную память – 1024 Кбайт;
- Отладочные средства.

Это ядро содержит: восемь функциональных блоков, два файла и два информационных канала. Каждый из этих двух файлов содержит 32 32-битных регистра. Регистры используются для хранения данных или для хранения указателей адресов данных.

В периферийной системе имеется набор функциональных модулей для многократного использования, то есть виртуальных компонентов, которые входят в различные продукты TI без каких-либо изменений. В него входят:

- Два контроллера прямого доступа к памяти;
- Интерфейс видеопорта;
- Универсальный параллельный порт;
- Контрольные таймеры;

Универсальный порт ввода-вывода GPIO, включающий в себя девять независимых 16-битных регистров.

- Управляющая система включает:
- Модуль синхронизации;
- Часы реального времени;
- Контроллер питания;
- Сторожевой 64-разрядный таймер и три универсальных 64-разрядных таймера;
- Модуль конфигурации системы.

Число периферийных модулей довольно велико. Количество выводов микросхем ограничено. Альтернативные функции выполняют 155 выводов. После запуска процессора функциональное назначение этих выводов должно быть однозначно определено путем записи соответствующих значений в управляющие регистры PINMUX0...19. Но все модули из периферийной системы могут использоваться одновременно - если один тот же внешний вывод используется в двух модулях, то приходится выбирать один из них.

Сведения и указания, описанные выше, помогут решить поставленную задачу, но для этого необходимо детально исследовать данный процессор, его особенности и отладочную плату.

Библиографический список

1. Степанов А.Б., Журабов Д.В. Реализация алгоритмов цифровой обработки сигналов на отладочной плате OMAP-L138 Experimentier kit [Электронный ресурс] URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/realizatsiya-algoritmov-tsifrovoy-obrabotki-signalov-na-otladochnoy-plate-omap-l138-experimentier-kit/viewer> (Дата обращения 20.02.2021)
2. Игорь ГУК Отладочная плата HawkBoard на базе процессора OMAP-L138 [Электронный ресурс] URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/otladochnaya-plata-hawkboard-na-baze-protssessora-omap-l138-chast-1/viewer> (Дата обращения 20.02.2021)
3. Интернет ресурс: <http://www.innovatesolutions.net/company> (Дата обращения 20.02.2021)
4. Интернет ресурс: <http://www.chipinfo.ru/literature/compeljournal/2009/200911/p6.html> (Дата обращения 20.02.2021)

УДК 004.318; ГРНТИ 50.09.33

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССОРОВ ARM В ЗАДАЧАХ ЦОС

И.С. Калинин

*Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань, et3rnityended112@gmail.com*

Аннотация. В работе рассматриваются краткие сведения об ARM структуре. Рассматривается архитектура процессора ARM Cortex-A9.

Ключевые слова: цифровая обработка сигналов, процессоры, ARM Cortex-A9

EVALUATING THE PERFORMANCE OF ARM PROCESSORS IN DSP TASKS

I.S. Kalinkin

*Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,
Russia, Ryazan, et3rnityended112@gmail.com*

The summary. This paper provides a brief overview of the ARM structure. The architecture of the ARM Cortex-A9 processor.

Keywords: digital signal processing, processors, ARM Cortex-A9

В современном мире электронные устройства занимают главенствующее место в жизни человека. Любой гаджет стоит из элементной базы и программного обеспечения, которое позволяет использовать максимально эффективно возможности «железа».

Главной составляющей в аппаратной части является процессор, который определяет основные характеристики конечного пользовательского продукта.

Краткие сведения об ARM структуре

Исторически выделяют два типа процессорных архитектур [1] : CISC (Complex Instruction Set Computing) и RISC (Reduced Instruction Set Computing). В кругах специалистов понимают, что к архитектуре RISC относится семейство процессоров ARM, а к архитектуре CISC – семейство x86. Основное отличие этих архитектур является сокращенный список инструкций или команд в пользу RISC. Кроме того ARM процессоры предполагают использование меньшее число транзисторов, а значит меньшее энергопотребление. Стоит также отметить преимущество RISC процессоров в объеме памяти.

Архитектура ARM Cortex-A9

Ярким представителем ARM архитектуры [2] является процессор ARM Cortex-A9, который является самым распространенным процессором в среднеценовой категории. В настоящее время он поставляется в больших объемах для смартфонов, цифрового телевидения, потребительских и корпоративных приложений. Процессор Cortex-A9 обеспечивает увеличение производительности более чем на 50% по сравнению с процессором Cortex-A8. Процессор Cortex-A9 может быть сконфигурирован с четырьмя ядрами, обеспечивающими пиковую производительность при необходимости. Конфигурируемость и гибкость делают его подходящим для широкого спектра рынков и приложений. Архитектура процессора ARM Cortex-A9 приведена на рисунке.

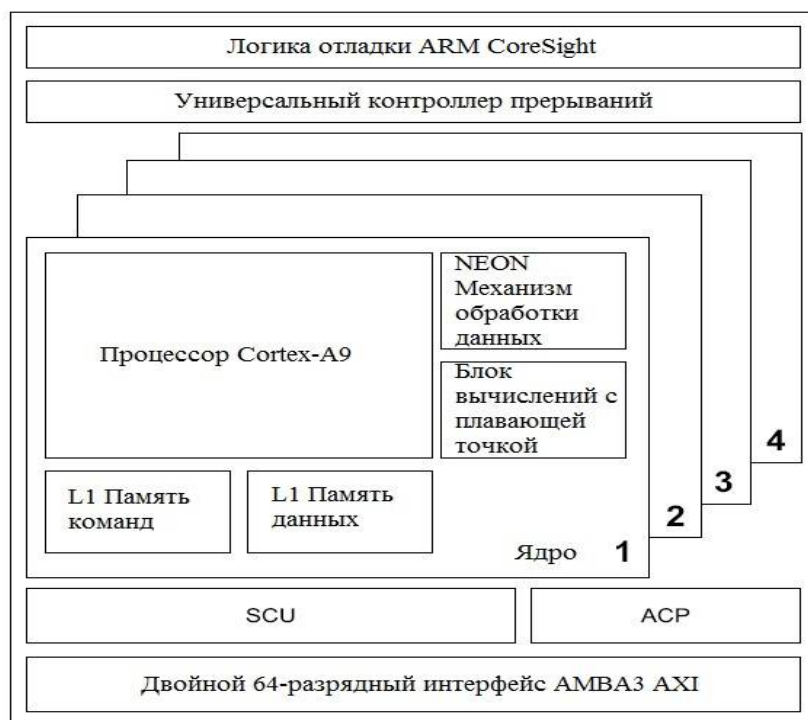


Рис. 1. Архитектура процессора ARM Cortex-A9

Процессор ARM Cortex-A9 имеет память L уровня [3], которые делятся на блок памяти для данных (L1) и блок памяти для команд (L2) по 32 бита каждый. Таким образом, это позволяет одновременно извлекать команды и получать доступ к данным. Блок L2 значительно больше и имеет меньшую задержку по сравнению с блоком L1.

Блок вычисления с плавающей запятой (FPU-Floating point unit) позволяет выполнять с целочисленными и дробными числами такие операции как:

- Сложение;
- Вычитание;
- Умножение;
- Деление;
- Умножение с накоплением;
- Вычисление квадратного корня.

Также FPU позволяет преобразовывать числа из формата с плавающей точкой в формат целого числа с округлением до нуля.

Блок контроля когерентности данных в памяти (SCU - Snoop Control Unit) предназначен для работы с памятью процессора, поскольку инициализация обращения к блокам L1 и L2 исходит именно от SCU. В случае одновременного применения нескольких процессоров, то есть в случае мультипроцессора, этот блок гарантирует когерентность информации в блоке памяти данных. Проблемой может стать одновременность запроса нескольких процессоров к одному блоку памяти данных. Тогда SCU перераспределяет запросы на несколько тактов, что снижает производительность.

Порт контроля когерентности акселератора (ACP Accelerator Coherency Port) это отдельный блок, главной задачей которого является контроль доступа к когерентным данным, то есть к SCU. Этот порт назначает специальные идентификаторы для запросов обращения к памяти данных. Уникальные идентификаторы позволяют SCU понять запрос с помощью бо-

лее коротких кодов, чем сам запрос. В случае, когда эти идентификаторы заканчиваются, происходит отложение запроса на получение данных до освобождения идентификатора.

Блок ускорения алгоритмов (NEON Data Engine) производит ускорение алгоритмов обработки мультимедиа сигналов, такие как кодирование и декодирование видео, обработка 2-D и 3-D графики, обработка речи и аудиоданных, изображений.

Библиографический список

1. Редькин П.П., «32-битные микроконтроллеры NXP с ядром CORTEX-M3 семейства LPC17XX», 2015, 766с.
2. А.В. Микушин, А.М. Сажнев, В.И. Сединин «Цифровые устройства и микропроцессоры» БХВ-Петербург, 2010 г., 832 с.
3. «ARM Cortex A Series» техническое описание, 2013 г.

СЕКЦИЯ «АКТУАЛЬНЫЕ ЗАДАЧИ ХИМИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ»

УДК 66.087.7; ГРНТИ 31.15.33

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СОСТАВА ЭЛЕКТРОЛИТА ОЛОВО-ВИСМУТ НА КАЧЕСТВО ПОЛУЧАЕМЫХ ЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ

К.А. Ветшев*, Г.И. Мельник**, А.Д. Рубцова*

*Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань, adr1999@list.ru

** Московский политехнический университет, Рязанский институт (филиал)
Рязань, galame@yandex.ru

Аннотация. На примере распространенного в промышленности гальванического покрытия сплава олово-висмут рассматривается влияние состава электролита на качество электроосажденного слоя металла. Приведены результаты сравнения покрытий, осажденных из двух рабочих растворов: стандартного и дополненного специальной добавкой. Выявлены некоторые преимущества и недостатки рассматриваемых электролитов.

Ключевые слова: электролиз, параметры электролиза, рабочий раствор, электролит олово-висмут, оловянирование.

RESEARCH OF THE INFLUENCE OF ELECTROLYTE COMPOSITION TIN-BISMUTH ON THE QUALITY OF PROTECTIVE COATINGS

K.A. Vetshev*, G.I. Melnik**, A.D. Rubtsova*

*Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,
Russia, Ryazan, adr1999@list.ru

**Moscow Polytechnic University, Ryazan Institute (branch)
Ryazan, galame@yandex.ru

The summary. The influence of the electrolyte composition on the quality of the electro-deposited metal layer is considered on the example of the tin-bismuth alloy electroplating, which is common in industry. The results of comparison of coatings deposited from two working solutions: standard and supplemented with a special additive are presented. Some advantages and disadvantages of the considered electrolytes are revealed.

Keywords: electrolysis, electrolysis parameters, working solution, tin-bismuth electrolyte, tinning.

Условия проведения электролиза, к которым относятся плотность тока, температура, перемешивание, природа и состав электролита, наличие поверхностно-активных веществ (ПАВ), режим процесса и т.д., оказывают существенное влияние на свойства и состав получаемого в итоге гальванического покрытия [1]. В связи с этим необходимо учитывать воздействие перечисленных факторов на электрохимическую систему при выборе оптимальной технологии электроосаждения металлов, обеспечивающей, в частности, наилучшее качество получаемых гальванических покрытий.

Данное исследование посвящено анализу влияния состава электролита оловянирования на качество получаемых защитных покрытий. Составы рабочих растворов представлены в таблице [2]. Как видно, электролит №2 отличается содержанием специальной органической добавки ОС-20 – промышленного синтанола, представляющего собой смесь полиэтиленгликолевых эфиров синтетических первичных высших жирных спиртов фракции C₁₆-C₁₈[3].

Таблица. Составы используемых электролитов оловянирования

Электролит №1		Электролит №2	
Компонент	Концентрация, г/л	Компонент	Концентрация, г/л
Сульфат олова	40 -60	Сульфат олова	40 -60
Нитрат висмута	0,5-1,0	Нитрат висмута	0,5-1,0
Серная кислота	100-130	Серная кислота	100-130
-	-	Добавка ОС-20	2-5

Экспериментальная установка представляет собой две параллельно работающие линии, каждая из которых включает в себя полимерную гальваническую ванну, заполненную электролитом известного состава, а также специальных штанг с прикрепленными к ним оловянным анодом и катодом, в качестве которого выступает медная пластина. Покрываются электроосаждаются в течение 10 минут при пропускании через систему тока силой 60 мА. Температура растворов не изменяется в течение всего эксперимента и равна 25°C (н.у.). Площадь высадки сплава на катоде составляет 4 см².

Таким образом, были получены два на первый взгляд разных, но схожих по составу и свойствам, гальванических покрытия. При визуальном осмотре было отмечено, что сплав, высадившийся из электролита без специальной добавки, наиболее равномерный по стороне, находившейся во время электролиза непосредственно напротив анода. По сравнению с ним покрытие, полученное из электролита с введенной ОС-20, более гладкое и равномерное с обеих сторон, не зависимо от расположения положительно заряженного электрода. Это также доказывает детальное рассмотрение поверхности под микроскопом.

На микрофотографиях видна трещина в покрытии, полученного из стандартного электролита; прослеживается зависимость равномерности распределения его кристаллов и структуры относительно положения электродов в системе. Второе покрытие отличается плотной упакованностью, мелкокристалличностью структуры и равномерностью распределения по всей покрываемой поверхности.

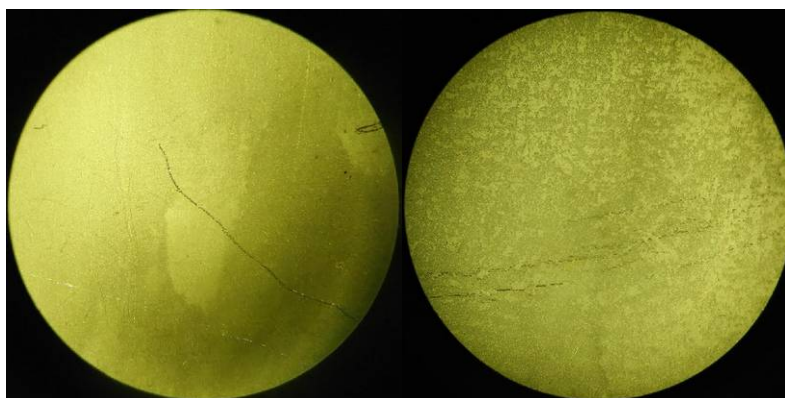


Рис. 1. Микрофотографии поверхности покрытия олово-висмут, полученного из стандартного электролита

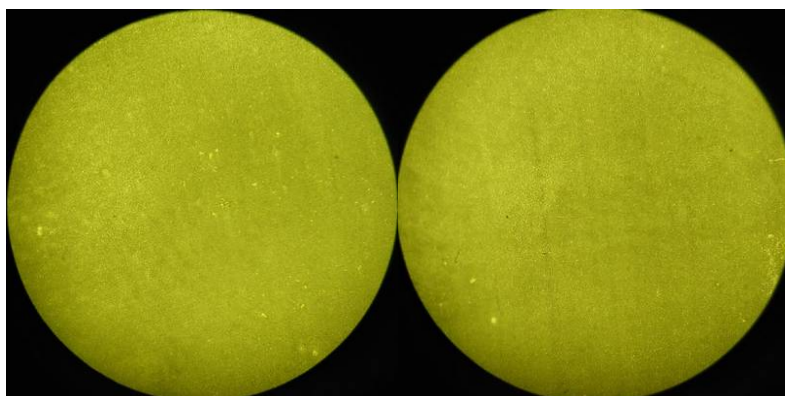


Рис. 2. Микрофотографии поверхности покрытия олово-висмут, полученного из электролита с введением добавки ОС-20

Так как исследуемое покрытие наиболее часто применяется в машиностроении и химической промышленности с целью улучшения паяемости и прочностных характеристик из-

делий, а также их защиты от коррозии, важную роль в оценке его качества играет испытание на прочность сцепления с основным материалом и коррозионную стойкость.

Полученные покрытия были испытаны на прочность к механическим и термическим воздействиям в соответствии со стандартом [4]. Следует отметить, что использовались качественные методы оценки: изгиба, трения и нагрева. Они направлены на сбор преимущественно абсолютных данных, которые позволяют непосредственно сравнивать результаты измерений различными способами.

В результате нагревания деталей до 140°C в течение 30 минут и последующего охлаждения на воздухе видимых изменений не обнаружено. Аналогичный вывод можно сделать из испытания трением. Заметная деформация покрытия, полученного из стандартного электролита, отмечается при сгибании детали под углом 90° в обе стороны: в месте излома образовалась трещина. В случае второго покрытия треска и отслаивания не обнаружено.

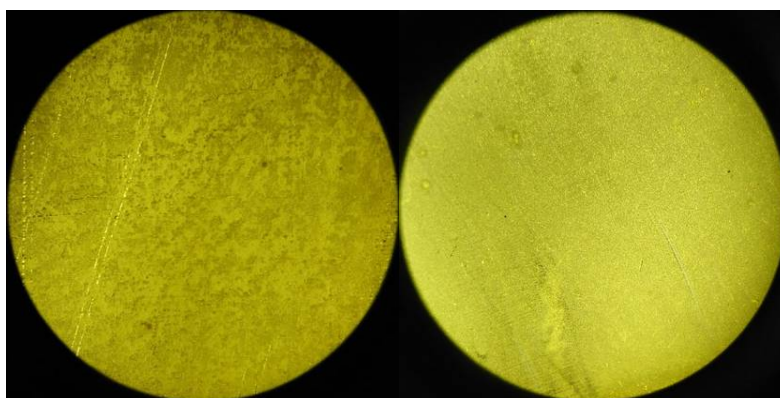


Рис. 3. Микрофотографии поверхностей покрытий, подверженных испытанию трением

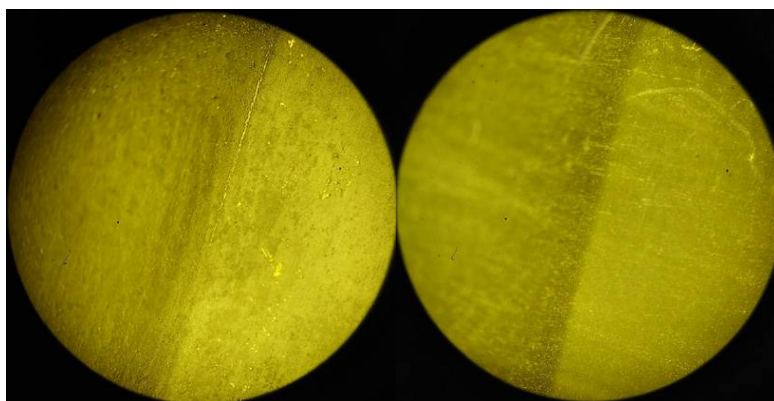


Рис. 4. Микрофотографии поверхностей покрытий, подверженных испытанию сгибанием

Для изучения коррозионной стойкости рассматриваемых покрытий, детали были помещены в раствор соляной кислоты, водородный показатель которой равен 1. На микрофотографиях поверхностей, сделанных после проведения данного испытания видно, что оба покрытия подверглись разрушению. Отмечается растворение и отслаивание сплава, осажденного из электролита без добавки. Кроме того, в некоторых местах коррозии подвергся материал основы, что недопустимо.

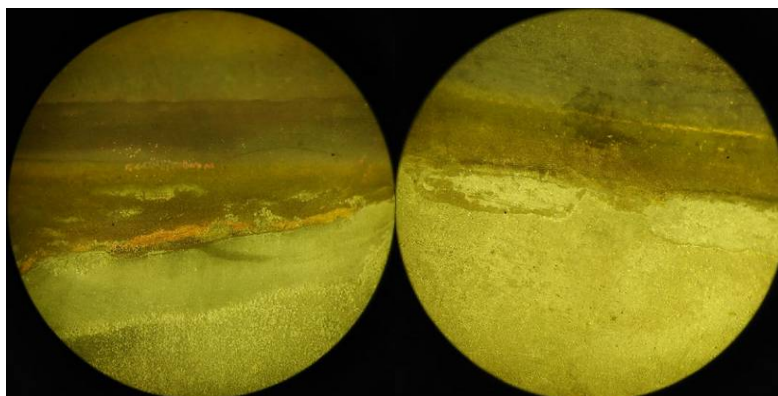


Рис. 5. Микрофотографии поверхностей покрытий, подверженных испытанию на коррозионную стойкость

На основании проведенного исследования можно сделать вывод, что наличие специальной добавки в электролите оловянирования способствует равномерному росту кристаллов покрытия, улучшению его структуры в целом. Электроосажденные из подобного рабочего раствора сплавы олово-висмут устойчивы к механическим и термическим воздействиям. Однако их применение, например, в массовом производстве изделий, предназначенных для эксплуатации в сильно агрессивных средах, требует более детальных исследований и доработок рассматриваемого электролита.

Библиографический список

1. Технология электрохимических покрытий: Учеб. Для средних специальных учебных заведений/ М.А. Дасоян, И.Я. Пальмовская, Е.В. Сахарова. – Л.: Машиностроение. Ленингр. От-ние, 1989. – 391 с.
2. ГОСТ 9.305-84. Единая система защиты от коррозии и старения (ЕСЗКС). Покрытия металлические и неметаллические неорганические. Операции технологических процессов получения покрытий. - Введ. с 01.01.1986. – Москва: Изд-во стандартов, 1986. – 105 с.
3. ГОСТ 10730-82 Вещества текстильно-вспомогательные. Препарат ОС-20. Технические условия. - Введ. с 01.01.1983. – Москва: Изд-во стандартов, 1997. – 15 с.
4. ГОСТ 9.302-88. Единая система защиты от коррозии и старения (ЕСЗКС). Покрытия металлические и неметаллические неорганические. Методы контроля (с Поправкой). – Введ. с 01.01.1990. -Москва: Изд-во стандартов, 2001. – 38 с.

УДК 62-932.2; ГРНТИ 61.51.13

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ИЗБЫТКА КИСЛОРОДА НА ПОТРЕБЛЕНИЕ ТОПЛИВА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПЕЧАМИ ПРОЦЕССА ГИДРООЧИСТКИ

М.В. Воронов, М.В. Лызлова

*Рязанский государственный радиотехнический университет им. В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань, mvlsid@rambler.ru*

Аннотация. В данной работе рассматривается зависимость избыточного содержания кислорода в топочном пространстве технологических печей процесса гидроочистки от коэффициента полезного действия печи и расхода топливного газа.

Ключевые слова: технологическая печь, процесс гидроочистки, коэффициент избытка воздуха, энтальпия продуктов сгорания, водородосодержащий газ.

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF EXCESS OXYGEN ON FUEL CONSUMPTION BY TECHNOLOGICAL FURNACES OF THE HYDROTREATING PROCESS

M.V. Voronov, M.V. Lyzlova

*Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,
Russia, Ryazan, mvlsid@rambler.ru*

Annotation. In this paper, the dependence of the excess oxygen content in the furnace space of technological furnaces of the hydrotreating process on the efficiency of the furnace and the fuel gas consumption is considered.

Keywords: technological furnace, hydrotreating process, excess air coefficient, enthalpy of combustion products, hydrogen-containing gas.

Технологические печи имеют широкое применение в нефтеперерабатывающей промышленности, используются в основном для нагревания сырья и характеризуются высокой производительностью и сравнительно невысокими температурами нагрева (350-500 °С). Такими аппаратами оснащены установки атмосферно-вакуумной перегонки нефти, вторичной перегонки бензина, газофракционирующие установки, а также многочисленные комплексы, реализующие процесс гидроочистки бензиновых и более тяжёлых фракций нефти.

В печах происходит нагрев поступающего сырья за счёт сжигания газообразного, жидкого или комбинированного топлива. Подвод тепла к материалам, находящимся в греющей камере, достигается тремя видами теплообмена: теплопроводностью, конвекцией и тепловым излучением, последние два из которых оказывают основное влияние на процесс.

В качестве газообразного топлива на нефтеперерабатывающих предприятиях Российской Федерации используется топливный газ – смесь лёгких углеводородов и неорганических газов, таких как кислород, азот, угарный и углекислый газы. При этом для поддержания непрерывного и полного сгорания топливного газа необходимо регулировать подачу кислорода в камеры печи. Переизбыток кислорода при визуальном наблюдении через специальные смотровые окна (гляделки) проявляется в укороченном пламени факела, образующемся при сгорании топлива, а также при появлении на кончиках пламени белых языков. Возможен и недостаток кислорода во внутреннем пространстве печи, который наблюдается по удлиняющимся и чернеющим языкам пламени и появлению тёмной окраски дымовых газов на выходе из дымовой трубы.

Авторами данной статьи предлагается расчёт и обоснование зависимости коэффициента полезного действия и расхода, потребляемого печью топливного газа от количества кислорода в топочном пространстве, выражаемого коэффициентом избытка топлива α , на примере технологической печи блока гидроочистки установки каталитического риформинга [1,2].

Используемые исходные данные и формулы в непосредственной последовательности расчета приведены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1. Исходные данные для расчёта

Показатель	Значение
Температура на входе в реактор гидроочистки, К	588
Температура на выходе из реактора гидроочистки, К	596
Температура дымовых газов печи, К	663
Давление на входе в реактор гидроочистки, кгс/см ²	29,4
Давление на выходе из реактора гидроочистки, кгс/см ²	23,9
Выход катализатора $\omega_{кат}$, масс доли	0,98
Выход газа $\omega_{газ}$, масс доли	0,02
Энтальпия водородосодержащего газа при температуре на входе в реактор гидроочистки I_2 , кДж/кг	2079,57
Энтальпия водородосодержащего газа при температуре на выходе из реактора гидроочистки I_5 , кДж/кг	2109,23
Энтальпия паров сырья установки при температуре на входе в реактор гидроочистки I_1 , кДж/кг	759,025
Энтальпия паров сырья установки при температуре на выходе из реактора гидроочистки I_3 , кДж/кг	761,035
Энтальпия паров сухого газа при температуре на выходе из реактора гидроочистки I_4 , кДж/кг	1394,57
Теплота реакций гидроочистки i , кДж/кг	150
Массовая теплота сгорания топливного газа, кДж/кг	51792,5
Суточный материальный баланс	
Статьи баланса	Выход, % масс.
Поступило	
Тяжелый бензин каталитического крекинга (сырьё) G_c – производительность по сырью, кг/ч	97,1722365
Водород содержащий газ (ВСГ) $G_{ц.г.}$ – количество циркулирующего газа, кг/ч	2,827763496
Итого	100
Получено	
Стабильный гидрогенизат	98,265
Рефлюкс	0,009
ВСГ отдувочный	1,023
Газ сухой	0,703
Итого	100,000
Состав топливного газа	
Компоненты топливного газа	Состав в % масс.
Водород	9,64
Метан	23,17
Этан	23,10
Пропан	20,84
Изобутан	5,72
Нормальный бутан	4,75
Изопентан	2,04
Нормальный пентан	1,16
Гексан и выше	3,96
Кислород	1,01
Азот	4,62
Итого	100,00

Для определения влияния кислорода на потребляемое печью топливо в работе проведен расчёт количества тепла, которое вносится в реактор гидроочистки после прохождения технологической печи (Q_2). На основе состава топливного газа (g_i , % масс.), числа атомов

углерода в данном компоненте топлива (n_i) и молярной массы i -го компонента топливного газа, (M_i , кг/кмоль) осуществлен расчёт процесса горения, последовательность которого представлена в таблице 2.

Таблица 2. Последовательность и результаты теплового расчета и процесса горения

Последовательность и результаты теплового расчета	
Количество тепла, внесённого в реактор сырьём установки и циркулирующим газом, кДж/кг	$Q_1 = G_c \cdot I_1 + G_{ц.г.} \cdot I_2$
Количество тепла, унесённого парами сырья, сухим и водородосодержащим газами из реактора, кДж/кг	$Q'_1 = G_c \cdot \omega_{кат} \cdot I_3 + G_c \cdot \omega_c \cdot I_4 + G_{ц.г.} \cdot I_5$
Количество тепла, затраченного на реакции гидроочистки	$Q'_2 = G_c \cdot i$
Потери в окружающую среду, кДж/кг.	$Q'_3 = 0,02 \cdot Q'_1$
Количество тепла, внесённого в реактор гидроочистки из технологической печи, кДж/кг.	$Q_2 = Q'_1 + Q'_2 + Q'_3 - Q_1 = 5\,740\,734,2$ кДж/кг
Последовательность расчета процесса горения	
Содержание углерода в топливном газе, % масс	$C = \sum_{CH_4}^{C_6H_{14}} \frac{g_i \cdot 12 \cdot n_i}{M_i} = 67,55 \% \text{ масс}$
Содержание водорода в топливном газе, % масс	$H = \sum_{H_2}^{C_6H_{14}} \frac{g_i \cdot 1 \cdot n_i}{M_i} = 26,82 \%$
Содержание кислорода в топливном газе, % масс	$O = \frac{g_i \cdot 16 \cdot n_i}{M_i} = 1,01 \%$
Содержание азота в топливном газе, % масс	$N = \frac{g_i \cdot 14 \cdot n_i}{M_i} = 4,62 \%$
Теоретическое количество воздуха, необходимого для сжигания 1 кг газообразного топлива	$L_0 = \frac{0,0267 \cdot C + 0,08 \cdot H + 0,01 \cdot (O - O)}{0,23} = 17,126 \frac{\text{кг}}{\text{кг}}$
Действительное количество воздуха	$L_D = \alpha L_0$
Количество продуктов сгорания 1 кг топливного газа	$m_{CO_2} = 0,0367 \cdot C$, $m_{H_2O} = 0,09 \cdot H$, $m_{O_2} = 0,09 \cdot L_0 \cdot (\alpha - 1)$, $m_{N_2} = 0,77 \cdot L_0 \cdot \alpha + 0,01 \cdot N$
Энтальпия продуктов сгорания	$q_r = (T - 273) \cdot (m_{CO_2} \cdot c_{CO_2} + m_{H_2O} \cdot c_{H_2O} + m_{O_2} \cdot c_{O_2} + m_{N_2} \cdot c_{N_2})$
Коэффициент полезного действия печи	$\eta = 1 - \left(\frac{Q_{пот}}{Q_{сгор}} - \frac{I_{прод.сгор}}{Q_{сгор}} \right)$
Расход топлива, кг/ч	$B = \frac{Q_2}{Q_{сгор} \cdot \eta}$

Содержание углерода, водорода и кислорода в топливном газе оказывают влияние на теоретическое количество воздуха (L_0), необходимого для сжигания 1 кг газообразного топлива. Теоретическое количество воздуха не является в достаточной мере приближенным к реальным условиям, поэтому используется действительное количество воздуха (L_D), которое оказывает определённое влияние на потребление печью топливного газа, поскольку зависит от коэффициента избытка воздуха α .

При варьировании коэффициента избытка воздуха α от 1 до 2 с шагом 0,1 определено действительное количество воздуха, количество продуктов сгорания 1 кг топливного газа. Результаты вычислений изображены в виде графиков на рисунке 1.

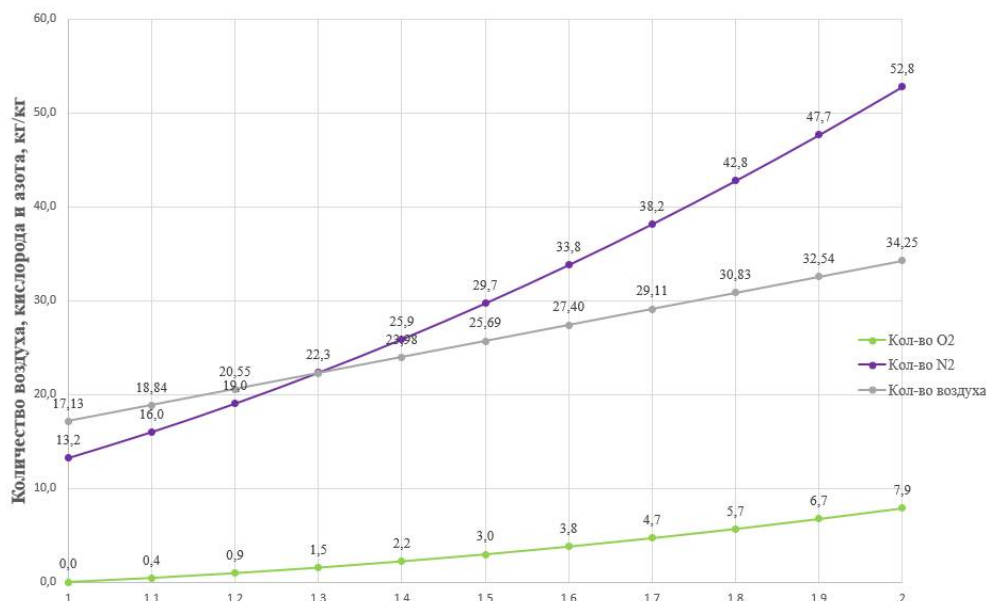


Рис. 1. Зависимость продуктов сгорания (кислорода – зелёный график, азота – фиолетовый график) и действительного количества воздуха от коэффициента избытка воздуха

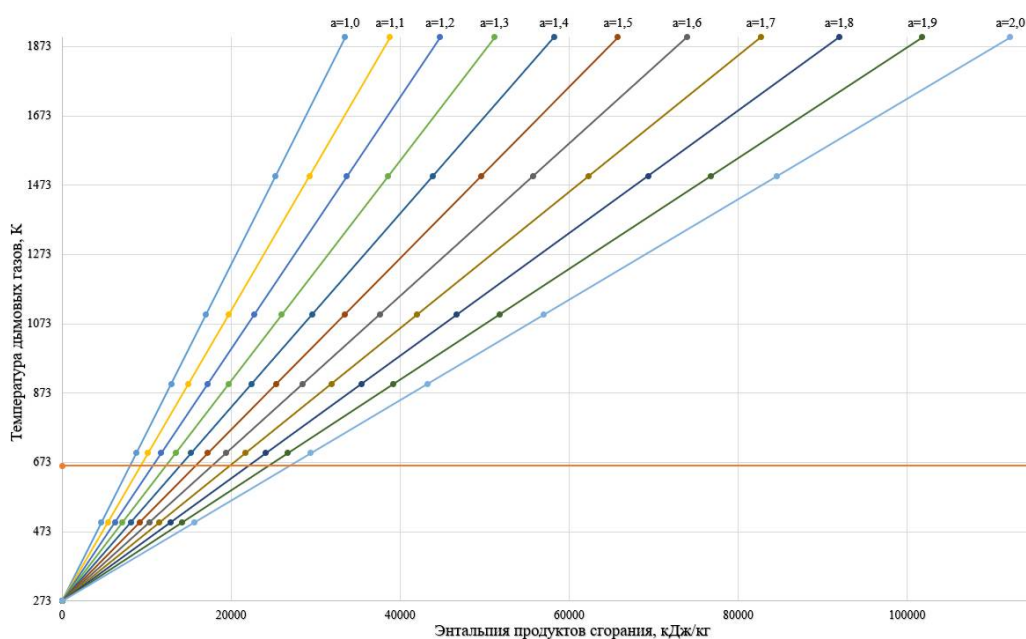


Рис. 2. Зависимость энтальпии продуктов сгорания от температуры дымовых газов

На основе полученных значений энтальпии продуктов сгорания (q_T) построены графики зависимости энтальпии от температуры дымовых газов (рисунок 2), чему предшествовало определение средних массовых теплоемкостей продуктов сгорания по справочной литературе [3] и далее энтальпий при температурах 273, 500, 700, 900, 1100, 1500 и 1900 К.

В зависимости от температуры уходящих дымовых газов (663 К) определены коэффициенты полезного действия печи и расход топлива при разных значениях коэффициента избытка воздуха. Полученные графические зависимости часового расхода топлива от коэффициента избытка воздуха представлены на рисунке 3.

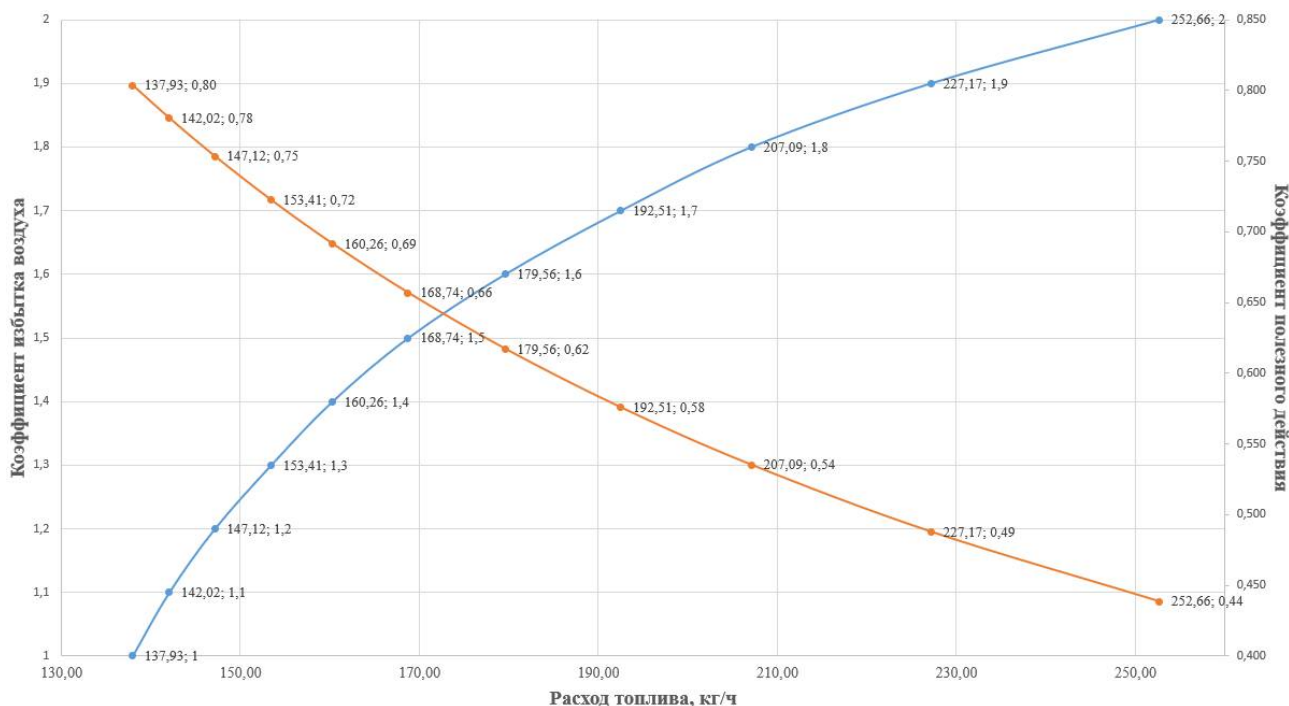


Рис. 3. Зависимость часового расхода топлива от коэффициента избытка воздуха (синий график) и коэффициента полезного действия (красный график)

Как видно из полученных графических зависимостей, расход потребляемого топливного газа напрямую зависит от избытка воздуха в топке печи, причём с увеличением кислорода воздуха расход топлива возрастает, а к.п.д. падает. Наиболее эффективная работа печи, связанная с оптимальной тепловой нагрузкой, не вызывающей износа основных узлов и сокращения межремонтного пробега, находится в диапазоне к.п.д. 0,6-0,83, что соответствует коэффициенту избытка топлива не более 1,6. При анализе работы печи блока гидроочистки риформинга было выяснено, что по содержанию кислорода в дымовых газах наблюдается увеличение коэффициента избытка топлива на 0,05-0,3, что влияет на увеличение расхода топливного газа.

Библиографический список

1. Гусейнов Д.А., Спектор Ш.Ш., Вайнер Л.З. Технологические расчёты процессов переработки нефти. — М.: Химия, 1981. — 308 с.
2. Кузнецов А.А., Кагерманов С.М., Судаков Е.Н. Расчёты процессов и аппаратов нефтеперерабатывающей промышленности. Изд. 2-е, пер. и доп. Л.: Химия, 1974. — 344 с.
3. Сарданашвили, А.Г. Примеры и задачи по технологии переработки нефти и газа [Электронный ресурс]: рук. / А.Г. Сарданашвили, А.И. Львова. — Электрон. дан. — Санкт-Петербург: Лань, 2017. — 256 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/90055>. — Загл. с экрана.

УДК 543.068.7:502.3; ГРНТИ 61.51.17

ИССЛЕДОВАНИЕ ГРУППОВОГО СОСТАВА ПРЯМОГОННОГО И ГИДРООЧИЩЕННОГО ВАКУУМНОГО ГАЗОЙЛЯ

К.А. Ветшев*, М.В. Воронов*, М.В. Лызлова*, Г.И. Мельник**, А.Д. Рубцова*, Д.С. Трункий*

**Рязанский государственный радиотехнический университет им. В.Ф. Уткина,*

Российская Федерация, Рязань, mvlsid@rambler.ru

***Рязанский институт (филиал) Московского политехнического университета, Российская Федерация, Рязань, galame@yandex.ru*

Аннотация. В данной работе приводятся экспериментальные и расчётные методы исследования группового состава вакуумных газойлей до и после гидроочистки.

Ключевые слова: вакуумный газойль, гидроочистка, групповой состав, инфракрасный спектр, парафины, нафтенны, ароматика.

INVESTIGATION OF THE GROUP COMPOSITION OF STRAIGHT-RUN AND HYDROTREATED VACUUM GASOIL

K.A. Vetshev*, M.V. Voronov*, M.V. Lyzlova*, G.I. Melnik**, A.D. Rubtsova*, D.S. Trunkin*

**Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,*

Russia, Ryazan, mvlsid@rambler.ru

***Ryazan Institute (branch) of Moscow Polytechnic University,*

Russia, Ryazan, galame@yandex.ru

Annotation. This paper presents experimental and computational methods for studying the group composition of vacuum gas oils before and after hydrotreatment.

Keywords: vacuum gas oil, hydrotreating, group composition, infrared spectrum, paraffins, naphthenes, aromatics.

Вакуумный газойль представляет собой высоковязкий продукт вакуумной перегонки мазута, выкипающий в диапазоне 340-550 °С, состоящий из сложной смеси углеводородов и гетероатомных соединений. С целью получения более качественных светлых нефтепродуктов, используемых как компоненты топлив, тяжелый вакуумный газойль подвергают крекированию после дополнительной гидроочистки. В результате деструктивных процессов изменяется групповой состав перерабатываемого сырья.

Известно, что нефтепродукты обладают индивидуальными соотношениями углеводородов различного строения, образующими их групповой состав, в зависимости от процессов переработки. Причём в таких тяжёлых продуктах переработки нефти, как вакуумные газойли, можно выделить группы парафиновых, нафтенных и ароматических углеводородов, соотношение которых будет отличаться в прямогонных и гидроочищенных продуктах. Исследованию данных соотношений посвящена настоящая работа.

Несмотря на сложность работы с высоковязкими нефтепродуктами, авторам статьи удалось на базе кафедры Химической технологии РГРТУ им. В.Ф. Уткина выполнить разнообразные эксперименты по определению физико-химических показателей вакуумного газойля с использованием современных приборов. Полученные значения плотности, кинематической вязкости, содержания серы, показателя преломления, молярной массы (таблица 1), а также ИКС – характеристики использовались для дальнейших расчетов по определению группового состава прямогонного и гидроочищенного вакуумного газойля.

Определение группового состава вакуумных газойлей в данной статье осуществлялось с применением двух расчётных методов и метода ИКС.

Таблица 1. Исходные данные для определения группового состава газойлей

Параметр	Газойль до гидроочистки	Газойль после гидроочистки
Относительная плотность ρ_{20}^4	0,9435	0,8655
Относительная плотность ρ_{15}^{15}	0,9465	0,8691
Кинематическая вязкость ν , мм ² /с	56,581	45,172
Показатель преломления n_D^{20}	1,51	1,4951
Молярная масса M , кг/кмоль	502,04174	239,232
Содержание серы S , %	1,8517	0,057

Первый из данных методов (n-р-М) описан в работе К. Ван-Неса и Х. Ван-Вестена [1] и предполагает вычисление процентного содержания углерода в группах структурно-различающихся углеводородов, содержащихся в составе нефтепродуктов.

Второй метод (n-р-ν-М) разработан М. Рирази и Т. Дюбертом [2], предложившими исследовать структурно-групповой состав с применением таких характеристик нефтепродуктов, как показатель преломления, относительная плотность, кинематическая вязкость и молекулярная масса. Он заключается в нахождении процентного распределения парафиновых, нафтеновых и ароматических структур в рассматриваемых нефтепродуктах, что дает более детальное понимание изменения структурных элементов после протекания процесса гидроочистки.

Расчётные формулы, используемые для проведения соответствующих вычислений, представлены в таблице 2.

Таблица 2. Последовательность расчёта по методам К. Ван-Неса и М. Рирази

Метод К. Ван-Неса и Х. Ван-Вестена	
Значения факторов X и Y для расчёта распределения углерода по структурам	$X=2,51(n_D^{20}-1,475)-\rho_4^{20}+0,851$, $Y=\rho_4^{20}-0,851-1,11(n_D^{20}-1,475)$
Массовая доля углерода в нафтеновых кольцах C_N , %	при $X>0$ $C_N=430X+\frac{3660}{M}$, при $X<0$ $C_N=670X+\frac{3660}{M}$
Массовая доля углерода в кольцевых структурах C_K , %	при $Y>0$ $C_K=820Y-3S+\frac{10000}{M}$, при $Y<0$ $C_K=1440Y-3S+\frac{10600}{M}$
Массовая доля углерода в ареновых кольцах C_A , %	$C_A=C_K-C_N$
Массовая доля углерода в парафиновых структурах C_P , %	$C_P=100-C_K$
Метод М. Рирази и Т. Дюберта	
Индекс рефракции	$RI=n_D^{20}-0,5\rho_4^{20}$
Универсальная вязкость Сейболта	$V_1=4,6324\nu+\frac{1+0,03264\nu}{(3930,2+262,7\nu+23,97\nu^2+1,646\nu^3)\cdot 10^{-5}}$
Вязкостно-весовая константа	$VGC=\frac{(10\rho_{15}^{15}-1,0752\cdot \lg(V_1-38))}{10-\lg(V_1-38)}$
Процентное содержание парафиновых структур, %	$X_P=257,37+101,33RI-357,3VGC$
Процентное содержание нафтеновых структур, %	$X_N=246,4-367,01RI+196,312VGC$
Процентное содержание ареновых структур, %	$X_A=100-X_P-X_N$

Итоги расчётов, представляющие собой процентное содержание углерода в парафиновых, нафтеновых и ароматических структурах прямогонных и гидроочищенных вакуумных газойлей, произведённых по методам К. Ван-Неса, Х. Ван-Вестена и М. Рирази, Т. Дюберта, изображены соответственно на рисунке 1 и на рисунке 2.

На ИК-спектрометре Фурье ФСМ 2201 были сняты спектры вакуумных газойлей, которые приведены на рисунке 3 [3-4]. Для определения группового состава газойлей по результатам обработки спектрограмм применялись зависимости, представленные в таблице 3.

На основании проведённых вычислений были построены диаграммы, изображенные на рисунке 4.

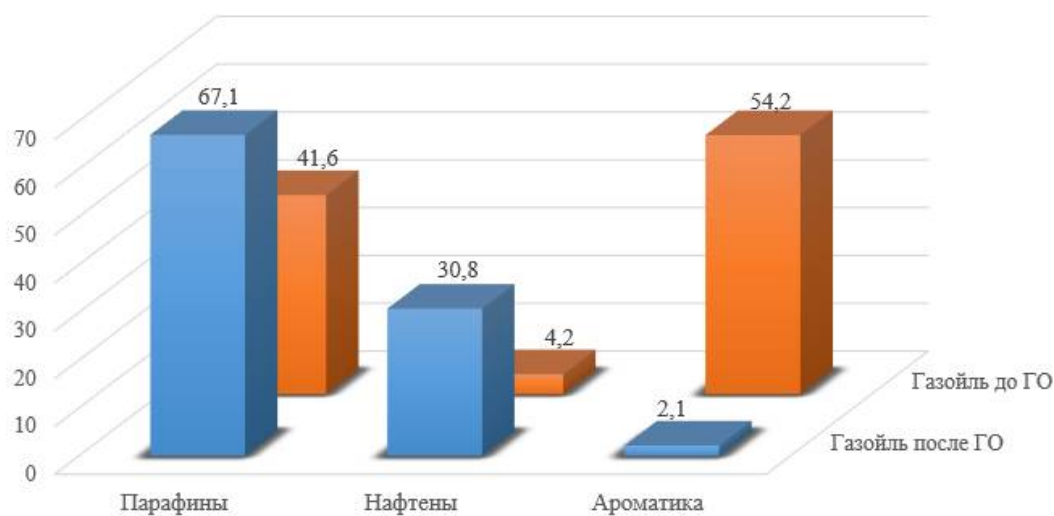


Рис. 1. Содержание углерода в структурных группах вакуумных газойлей по методу К. Ван-Неса, Х. Ван-Вестена

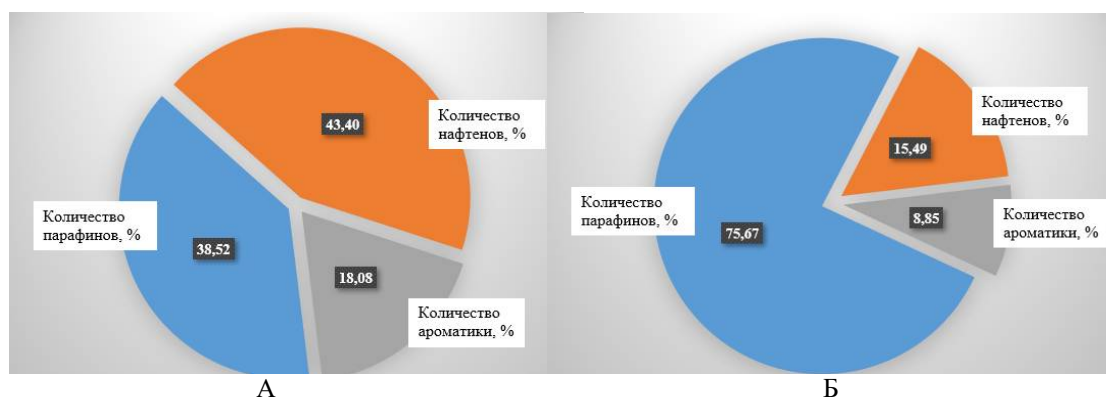


Рис. 2. Распределение парафиновых, нафеновых и ароматических углеводородов в прямогонном (А) и гидроочищенном (Б) газойлях по методу М. Риизи, Т. Дюберта

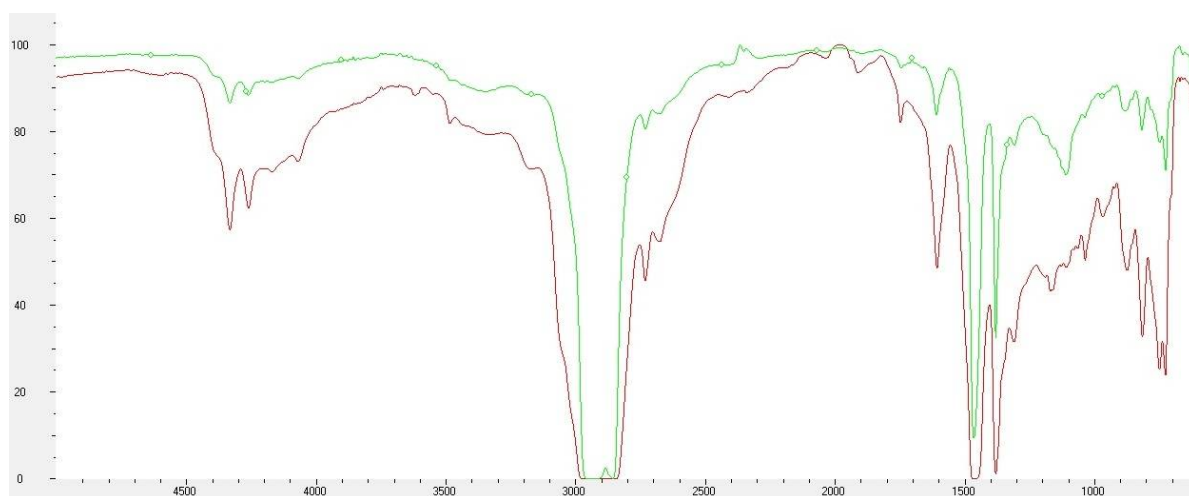


Рис. 3. ИК-спектрограммы прямогонного (красный график) и гидроочищенного (зелёный график) вакуумных газойлей

Таблица 3. Формулы для расчёта группового состава газойлей по ИК-спектрам

Процентное содержание парафиновых углеводородов $X_{п}$, %	$X_{п} = \frac{D_{720}}{\sum D} \cdot 100$
Процентное содержание нафтеновых углеводородов $X_{н}$, %	$X_{н} = \frac{D_{960} + D_{1030}}{\sum D} \cdot 100$
Процентное содержание ароматических углеводородов $X_{а}$, %	$X_{а} = \frac{D_{1600}}{\sum D} \cdot 100$

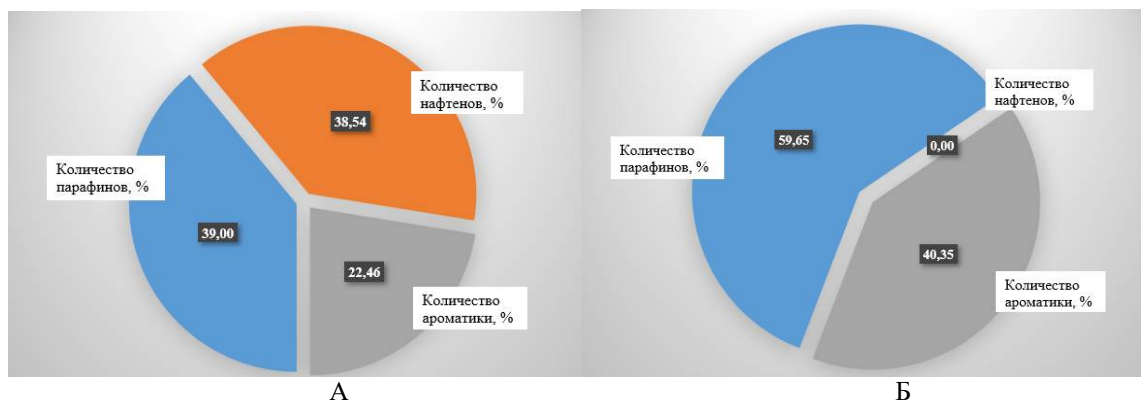


Рис. 4. Распределение парафиновых, нафтеновых и ароматических углеводородов в прямогонном (А) и гидроочищенном (Б) газойлях по результатам расшифровки ИК-спектрограмм

Анализ полученных результатов группового состава вакуумных газойлей проводили, с одной стороны, относительно содержания ароматических структур в исследуемых образцах, с другой стороны, сравнением изменения количества парафинов, нафтенов и аренов до и после гидроочистки. Данный подход был вызван тем, что в процессе гидроочистки происходит присоединение водорода по ненасыщенным связям в олефинах и аренах, отщепление от гетероатомных соединений (сера, азот и кислородсодержащие соединения) веществ, не содержащих углерод, перераспределение водорода, приводящее либо к образованию нафтенов, либо аренов, а также расщепление углерод-углеродных связей. Если реакции гидрогенолиза являются целевыми, то гидрокрекинг – побочная реакция. Все протекаемые химические превращения зависят от активности и селективности катализатора, свойств сырья и технологических параметров процесса (температуры, для тяжелого сырья имеет важное значение перепад температур по высоте реактора, давления, объемной скорости подачи сырья и кратности циркуляции водород содержащего газа). В связи с этим, образующиеся соединения будут иметь сложный групповой состав и для их определения необходимо учитывать протекание как основных реакций гидрогенолиза, так и возможных побочных реакций. Образующиеся соединения оказывают взаимное влияние друг на друга в смеси, что проявляется в физико-химических свойствах.

В результате анализа было выявлено, что содержание парафины:нафтены:арены в прямогонном вакуумном газойле, определенное методом п-р-М приблизительно составляет 10:12:1, методом п-р-в-М – 2:2,3:1, методом ИКС – 1,73:1,72:1. Соотношение парафины:нафтены:арены в гидроочищенном вакуумном газойле составило: методом п-р-М – 2,18:0,13:1, методом п-р-в-М – 8,55:1,75:1, методом ИКС – 1,48:0:1. Как видно из полученных результатов наиболее близкие значения структурно-группового состава для прямогонного вакуумного газойля имеют методы п-р-в-М и ИКС, а для гидроочищенного продукта – п-р-М и ИКС. Возможно, расхождения в методах расчета группового состава связаны с изменением вязкостных характеристик и содержанием сернистых соединений в исследуемых образцах.

В результате сравнения изменения содержания парафинов, нафтенов и аренов в вакуумных газойлях до и после гидроочистки оказалось, что расчеты всеми методами подтверди-

ли увеличение парафиновых соединений в гидроочищенном продукте. Соотношение парафинов в прямогонном и гидроочищенном вакуумном газойле составило: метод п-р-М - 1:1,63, метод п-р-в-М - 1:1,96, метод ИКС - 1:1,5. Изменение содержания нафтенных и ароматических соединений в продуктах до и после гидроочистки, рассчитанное разными методами, отличаются. Все методы подтверждают уменьшение содержания нафтенных соединений: метод п-р-М - 1:0,13, метод п-р-в-М - 1:0,36, метод ИКС - 1:0. Содержание ароматических соединений, определенное разными способами, не коррелирует между собой: метод п-р-М - 1: 0,038, метод п-р-в-М - 1:0,49, метод ИКС - 1:1,79. По всей видимости это связано с протеканием реакций диспропорционирования и гидрокрекинга, как побочных, которые не учитывались при расчете методами п-р-М и п-р-в-М, а определить увеличение ароматических структур оказалось возможно только методом ИКС.

Таким образом, исследования показали, что применять расчетные методы определения группового состава К. Ван-Неса, Х. Ван-Вестена и М. Рирази, Т. Доуберта эффективнее для прямогонных вакуумных газойлей, при этом большая корреляция с методом ИК-спектроскопии достигается при использовании метода п-р-в-М.

Библиографический список

1. Ван-Нес К., Ван-Вестен Х. Состав масляных фракций нефти и их анализ. М.: Изд-во иностр. лит., 1954. 463 с.
2. Riazi M., Daubert T.E. Prediction of molecular – type analysis of petroleum fractions and coal liquids // Ind. Eng. Chem. Process Des. Dev. 1988. V. 25. № 4. P. 1009-1015.
3. Иванова Л.В. Регулирование низкотемпературных свойств нефтяных систем разного уровня сложности: диссертация кандидата химич. наук. Российский государственный университет нефти и газа (национальный исследовательский университет) имени И. М. Губкина, Москва, 2016.
4. Воронов М.В., Коваленко В.В., Лызлова М.В., Мельник Г.И., Трунькин Д.С., Шуварилова Т.П. Исследование содержания бензола в бензинах методом ИК-Спектроскопии // Современные технологии в науке и образовании – СТНО-2020 [текст]: сб. тр. III междунар. науч.-техн. форума: в 10 т. Т.3./ под общ. ред. О.В. Миловзорова. – Рязань: Рязан. гос. радиотехн. ун-т, 2020; Рязань. – 162 с.; ил.

УДК 004.94; ГРНТИ 61.13.21

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАЗДЕЛЕНИЯ НЕФТЯНЫХ ФРАКЦИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГИПОТЕТИЧЕСКИХ КОМПОНЕНТОВ

В.В. Коваленко, Н.Ю. Кулавина, Г.А. Шашкина, К.А. Ветшев, А.Д. Рубцова
*Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Россия, Рязань, xt-kontakt@mail.ru*

Аннотация. В данной работе рассматривается методика создания банка гипотетических компонентов в модуле ChemSep программы CAPE-OPEN to CAPE-OPEN simulation environment.

Ключевые слова: псевдо компоненты, CAPE-OPEN to CAPE-OPEN simulation environment, ChemSep, истинная температура кипения (ИТК), банк гипотетических компонентов.

MODELING THE SEPARATION OF OIL FRACTIONS USING HYPOTHETICAL COMPONENTS

V.V. Kovalenko, N.U. Kulavina, G.A. Shashkina, K.A. Vetshev, A.D. Rubtsova
*Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,
Russia, Ryazan, xt-kontakt@mail.ru*

Annotation. In this paper, we consider a method for creating a bank of hypothetical components in the ChemSep module of the CAPE-OPEN to CAPE-OPEN simulation environment program.

Keywords: pseudo components, CAPE-OPEN to CAPE-OPEN simulation environment, ChemSep, True boiling point (TIC), hypothetical component bank.

Эффективность исследования, проектирования и оптимизации химико-технологических процессов значительно повышается при их моделировании. Такие модели позволяют учесть влияние на процесс большого количества параметров, получить качественные и количественные характеристики процесса с экономией временных и финансовых ресурсов.

Исходным сырьем для нефтеперерабатывающих предприятий является нефть. Нефть представляет собой сложную многокомпонентную взаиморастворимую смесь газообразных, жидких и твердых углеводородов различного химического строения с числом углеродных атомов до 100 и более с примесью гетероатомных соединений серы, азота, кислорода и некоторых металлов. Поэтому определение состава этой смеси как совокупности всех входящих в нее соединений — очень сложная и не всегда разрешимая задача. Для создания модели такой смеси требуется определение качественного и количественного состава сырья, физико-химических параметров каждого компонента.

Состав жидких углеводородов в виду их огромного количества не разделяется на индивидуальные компоненты, а представляется в виде псевдо компонентов — групп тяжёлых углеводородных компонентов, объединённых для упрощения расчётов в один компонент с едиными свойствами. Псевдо компоненты характеризуются рядом свойств: интервалом кипения, средней температурой кипения, плотностью, молярной массой, критическим давлением, температурой, объемом, ацентрическим фактором. Они должны отражать состав и свойства фракций нефти как по отдельности, так и в смеси.

Основные характеристики псевдо компонентов получают по данным разгонки истинных температур кипения (ИТК). ИТК представляет собой зависимость объема выкипевших компонентов смеси нефтепродуктов от интервала температур кипения. Данные ИТК позволяют определить количество и свойства каждого компонента с узким интервалом кипения, входящего в состав нефтепродукта. На основании полученных при разгонке значений температур и плотности фракции определяются свойства псевдо компонентов с учетом свойств углеводородов.

Программа моделирования процессов разделения ChemSep (версия Lite), входящая в пакет моделирования химико-технологических процессов CAPE-OPEN to CAPE-OPEN simulation environment (COCO), позволяет использовать в расчетах компоненты, которые отсутствуют в системной библиотеке. Программа позволяет создавать библиотеки псевдо компонентов, называемых в программе гипотетическими.

Создаются библиотеки гипотетических компонентов в модуле ChemSep. Для этого создается новый банк данных. В окне Pseudo Component Generation вводятся следующие данные: значение нормальной температуры кипения $T_b(K)$, плотность API или относительная плотность SG, выбираются методы, которые будут использоваться программой для расчета свойств (нормальная температура кипения, молекулярный вес, плотность, критическая температура, критическое давление, критический объем, ацентрический фактор).

Методы расчета параметров гипотетической смеси выбираются из уже имеющихся в программе в зависимости от исходных данных компонента. Например, для расчета критической температуры и давления применяется метод Ли-Кеслера (при температурах больше 800 К и плотности больше 1067 кг/м^3), метод Бергмана (при температурах меньше 548,15 К и плотности меньше 800 кг/м^3), метод Каветта в остальных случаях. Для расчета критического объема выбирается метод Риази – Дауберта и т.д.

В работе выполнено моделирование процесса извлечения парафина из керосина с созданием банка гипотетических компонентов. Для создания библиотеки в модуле ChemSep используются свойства псевдо компонентов керосина (таблица 1). Смесь разделена на двенадцать компонентов на основе кривой истинной температуры кипения ИТК (true boiling point TBP).

Таблица 1. Свойства псевдо-компонентов керосина

№ компонента	Имя гипотетического компонента	Tb(K)	API
1	Нур-А	399,15	56.92
2	Нур-В	429,15	53.23
3	Нур-С	443,15	51.08
4	Нур-Д	451,15	50.14
5	Нур-Е	459,15	48.98
6	Нур-Ф	471,15	47.61
7	Нур-Г	485,15	46.26
8	Нур-Н	497,15	44.71
9	Нур-И	511,15	44.06
10	Нур-Ж	518,15	42.33
11	Нур-К	530,15	40.64
12	Нур-Л	553,15	38.16

В окне генерации гипотетических компонентов выбирается способ задания параметров: температура кипения Tb(K) и плотность (API). Задаются значения температуры и плотности API псевдо компонента. Выбираются методы расчета параметров гипотетической смеси (рисунок 1). Рассчитанные параметры появляются в окне PCD библиотеки (рисунок 2).

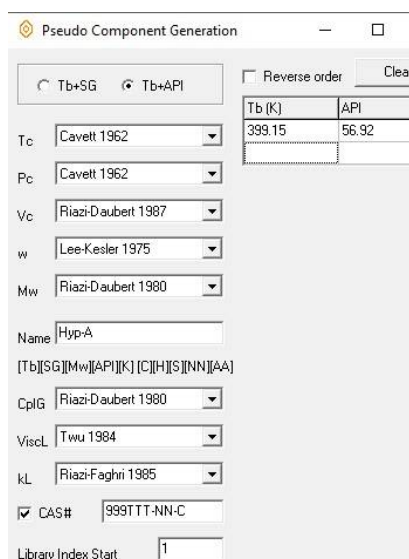


Рис. 1. Выбор метода расчета параметров смеси

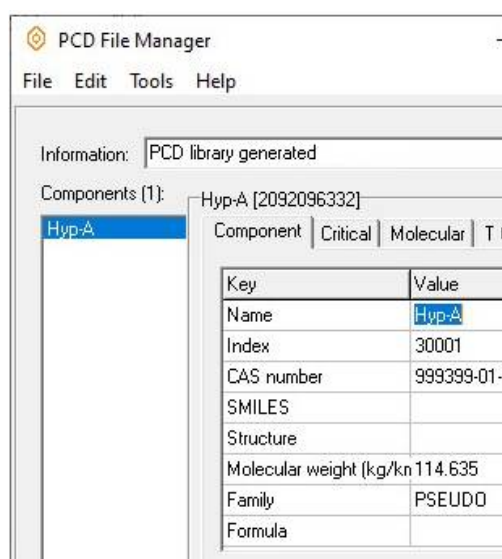


Рис. 2. Вывод рассчитанных параметров

После формирования списка всей группы гипотетических компонентов в конфигурацию схемы добавляется набор для данной модели (рисунок 3).

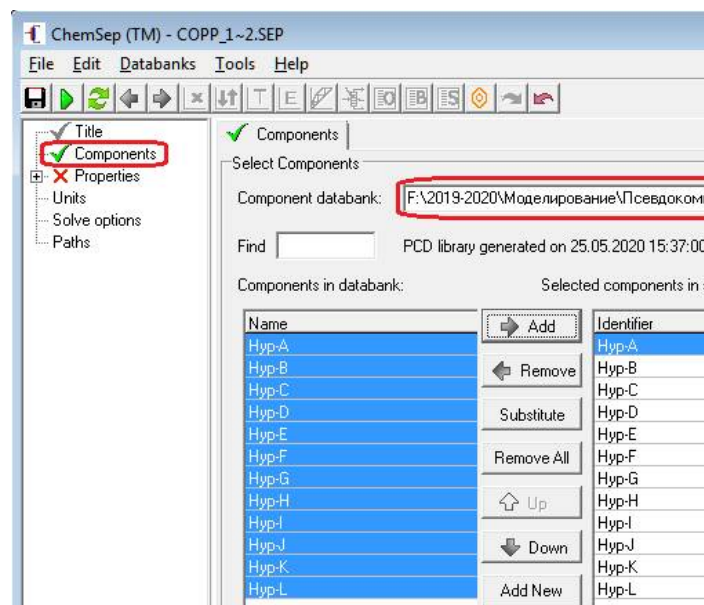


Рис. 3. Вывод всей группы гипотетических компонентов для данной модели

Для извлечения парафина из керосина используется равновесная колонна (Complex Column) с дополнительным выходом (Sidestream), конденсатором и ребойлером. Колонна содержит 40 тарелок, на 27 тарелку подается смесь гипотетических компонентов, с 12 тарелки выходит дополнительный поток парафиновой фракции (рисунок 4). Заданы мольные доли гипотетических компонентов в потоке на входе в колонну, температура, давление и расход исходной смеси. Для бокового потока задан расход 58 моль/с, для верхнего 30,35 моль/с, для нижнего – 11,6 моль/с.

После расчета модели получены результаты, представленные на рисунке 5. Доля бокового потока соответствует заданному значению. Получено максимальное значение содержания гипотетических компонентов Нур-Е - Нур-Л в среднем потоке, что соответствует содержанию псевдо компонентов в парафиновой фракции.

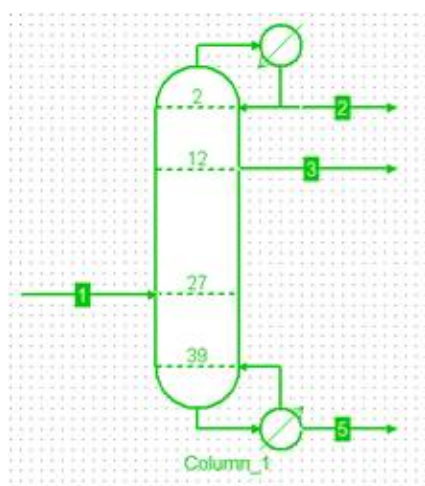


Рис. 4. Схема колонны

Stream	Feed1	Top	Bottom	Sidestream
Stage	27	1	40	12
Pressure (kPa)	138.000	138.000	138.000	138.000
Vapour fraction (-)	0.999865	0.000000	0.000000	1.000000
Temperature (K)	503.952	428.580	557.833	497.083
Total molar flow (mol/s)	99.9500	30.3500	11.6000	58.0000
Total mass flow (kg/s)	15.7916	4.02902	2.38603	9.37651
Vapour std.vol.flow (m3/s)	*	*	*	*
Liquid std.vol.flow (m3/s)	*	*	*	*
Mole flows (mol/s)				
Hyp-A	12.9000	9.31722	9.7325E-15	3.58278
Hyp-B	11.6000	7.97938	6.7345E-12	3.62062
Hyp-C	5.55000	3.60157	9.2839E-11	1.94843
Hyp-D	5.20000	3.11028	6.4114E-10	2.08972
Hyp-E	10.5000	4.98400	1.0103E-08	5.51600
Hyp-F	10.0300	1.29436	2.3657E-07	8.73564
Hyp-G	9.65000	0.0600812	1.1591E-05	9.58991
Hyp-H	9.37000	0.00302876	4.0347E-04	9.36657
Hyp-I	8.77000	7.5218E-05	0.0403639	8.72956
Hyp-J	5.08000	6.4204E-06	0.376254	4.70374
Hyp-K	3.34000	6.1787E-09	3.22299	0.117006
Hyp-L	7.96000	1.8828E-15	7.95997	2.3820E-05

Рис. 5. Вывод результатов расчета

Таким образом, в работе создан банк гипотетических компонентов, который обеспечивает создание моделей процессов в нефтепереработке, моделирование поведения нефтяных фракций и их отдельных компонентов. При использовании библиотек гипотетических компонентов могут быть получены адекватные модели достаточно сложных процессов, с

помощью которых возможно осуществить выбор рациональных режимов работы всей схемы процесса и отдельных аппаратов, корректировать реальные процессы после отработки вариантов работы на модели.

Библиографический список

1. Коваленко В.В., Кулавина Н.Ю., Шашкина Г.А. Филиппова А.В. Программные продукты для моделирования химико-технологических систем в учебном процессе / Современные технологии в науке и образовании – СТНО-2016: сб. тр. между-нар. науч.-техн. и науч.-метод. конф.: в 4 т. Т.3./ под общ. ред. О.В. Миловзорова. – Рязань: Рязан. гос. радиотехн. ун-т, 2016. – С. 155-158.
2. Руководство СОСО [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.cocosimulator.org/>.

УДК 628.16; ГРНТИ 31.15.33

К ВОПРОСУ ПРИМЕНЕНИЯ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ОЧИСТКИ ВОДЫ НА УЧАСТКЕ ХВП

А. Мочалкин*, Г.И. Мельник**

**Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань, map2687@yandex.ru*

*** Московский политехнический университет, Рязанский институт (филиал)
Рязань, galame@yandex.ru*

Аннотация. В данной работе рассматривается сущность электрохимических методов в рамках использования для повышения качества очистки воды на участке ХВП.

Ключевые слова: электрохимический метод, очистка воды, электродиализ, электрохимическая коагуляция, электрофлотация.

TO THE QUESTION OF APPLICATION OF ELECTROCHEMICAL METHODS TO IMPROVE THE QUALITY OF WATER PURIFICATION IN THE HVP SITE

A. Mochalkin*, G.I. Melnik**

**Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,
Russia, Ryazan, map2687@yandex.ru*

***Moscow Polytechnic University, Ryazan Institute (branch)
Ryazan, galame@yandex.ru*

Abstract. In this paper, we consider the essence of electrochemical methods used to improve the quality of water treatment at the HVP site.

Keywords: electrochemical method, water purification, electrodialysis, electrochemical coagulation, electroflotation.

В современном мире водоподготовка является необходимым процессом для нормального функционирования производства. Водоподготовка представляет собой обработку воды, которая берется из различных природных водоемов – рек, озер, скважин, для того, чтобы технологические потребители могли использовать воду в технологических процессах. Химводоподготовка (ХВП) – это обязательное мероприятие, которое следует проводить для обеспечения бесперебойной и безопасной работы промышленного оборудования.

Электрохимические методы водоподготовки – это основные и наиболее эффективные методы для очистки воды на нефтехимических комплексах [1-3]. Соответственно, развитие и проведение исследований в области электрохимических методов очистки воды существенно ускорит решение проблемы предотвращения высокой антропогенной нагрузки на водные объекты, а также создаст условия для использования некондиционных вод в водообороте.

Теоретические расчеты и исследования доказывают тот факт, что электрохимическая очистка воды превосходит по экономичности, скорости и качеству сорбционные, фильтрационные и ионообменные методы в сотни раз.

Изучение электрохимических реакций показали, что с применением данных методов возможно преобразовать воду в высокоактивный технологический раствор, обладающий практически любыми необходимыми функциональными свойствами без дополнительных затрат химических реагентов.

Чаще всего на участках ХВП применяются два электрохимических метода для повышения качества очистки воды – это электрохимическая коагуляция и электрофлотация, однако в последние годы большое распространение получил метод, находящийся на границе с мембранными методами - электродиализ.

Электродиализ

Электродиализная очистка воды основана на разделении веществ, находящихся в ионизированном состоянии. Она происходит в растворе по обе стороны мембран под действием электродвижущей силы.

Окислительно-восстановительные процессы при электродиализе происходят следующим образом: на аноде идет процесс окисления, то есть потеря электронов веществом, а на катоде идет восстановление вещества за счет приобретения электронов.

Электрохимические реакции при электродиализе можно разделить на два процесса, в одном из которых одни вещества разлагаются, а в другом получают новые продукты. Распространению электродиализа способствует и тот факт, что использование ионообменных материалов позволяет получать соединения высокой степени чистоты.

В анодном пространстве за счет переноса анионов на аноде выделяется кислород и получается кислота, в катодном пространстве за счет переноса катионов образуется щелочь. В средней камере в процессе протекания тока уменьшается количество солей, концентрация которых в процессе стремится к нулю.

В электродиализаторе в качестве перегородок выступают мембраны, состоящие из ионообменного материала. В настоящее время существуют мембраны, которые являются электропроводными и обладают высокой селективностью и высоким диффузионным сопротивлением. Активные ионообменные диафрагмы повышают эффективность процесса, тем самым понижается расходование электроэнергии. Так как процесс электродиализа относится к ионообменному, поэтому и мембраны делятся в зависимости от заряда. Они носят название катионные и анионные мембраны. В связи со своими свойствами, катионные мембраны пропускают только катионы, а анионные мембраны – только анионы.

Преимущества данного метода состоят в возможности автоматизации процесса, при эксплуатации не требуется регенерация, можно регулировать степень очистки и достигается высокая степень очистки от солей. Этот метод является рациональным с точки зрения производительности и экономических затрат, поскольку позволяет довести возврат до 99 % воды в технологический процесс, при этом отсутствуют химические отработанные реагенты.

К недостаткам метода можно отнести необходимость предварительной очистки сточных вод от масел, ПАВ, органики, отсутствие селективности и, конечно, дороговизну мембран. К тому же в процессе электродиализа происходит концентрационная поляризация, которая в свою очередь приводит к осаждению на поверхность мембран солей, что снижает степень очистки.

Электрокоагуляция

Электрокоагуляция – способ повышения качества очистки воды, с использованием постоянного тока, который подается на погруженные в воду электроды.

На проведение очистки воды методом электрической коагуляции влияют следующие факторы:

- качество исходной воды;

- температура проходящей очистки воды;
- pH среды;
- доза коагулянта;
- условия перемешивания воды с коагулянтом;
- наличие различных вспомогательных средств;
- порядок ввода реагентов в очищаемую воду [2]

Электрокоагуляционная технология позволяет подготовить воду определенного качества для последующего повторного использования в производстве.

При электрокоагуляции происходит электролиз воды, поляризация частиц, электрофорез, окислительно-восстановительные процессы, взаимодействие продуктов электролиза друг с другом.

Сущность коагуляции состоит в том, что к коллоидному раствору, частицы которого имеют, например, отрицательный заряд, добавляют другой коллоидный раствор с положительно заряженными частицами.

При этом противоположные заряды коллоидных частиц нейтрализуются с последующей агломерацией (слипанием) отдельных частиц.

Коллоидная частица по отношению к остальному объему окружающей ее жидкости является отрицательно заряженной. При коагуляции воды положительно заряженный коллоидный раствор вводят не в готовом виде, а получают непосредственно в обрабатываемой воде.

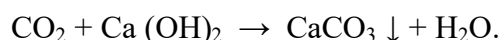
Обработка воды методом известкования с коагуляцией предназначена для удаления органических коллоидных веществ с одновременным снижением щёлочности исходной воды.

В процессе известкования и коагуляции происходит частичное умягчение и снижение сухого остатка обрабатываемой воды, а также удаление взвешенных веществ, соединений кремния и железа, уменьшается цветность воды.

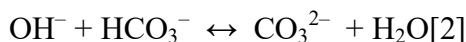
Для этого в исходную воду вводятся растворы реагентов - известкового молока и коагулянта: гашеная известь $\text{Ca}(\text{OH})_2$ в виде известкового молока, в качестве коагулянта используется железный купорос ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$).

Основное назначение известкования – умягчение, а также снижение щелочности обрабатываемой воды и удаление свободной углекислоты. Одновременно происходит снижение содержания соединений железа, кремнекислоты и органических веществ.

Удаляется свободная углекислота (CO_2) и образуется труднорастворимое, выпадающее в осадок соединение – углекислый кальций (CaCO_3):

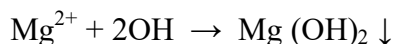


При введении извести в большем количестве, чем это необходимо для связывания свободной углекислоты, в воде повышается содержание гидроксильных ионов (OH^-), что приводит к переходу бикарбонатов (HCO_3^-) в карбонаты (CO_3^{2-}).

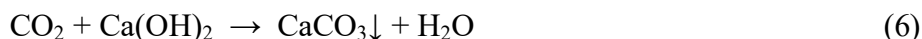
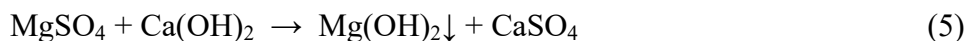
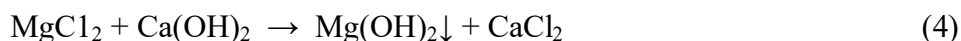
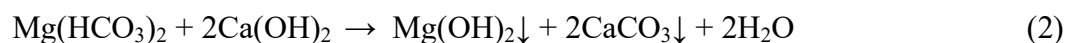
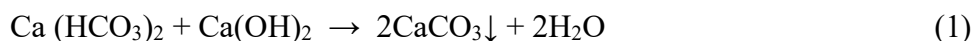


Карбонаты образуют с находящимися в воде ионами кальция (Ca^{2+}) выпадающий в осадок карбонат кальция (CaCO_3): $\text{Ca}^{2+} + \text{CO}_3^{2-} \rightarrow \text{CaCO}_3 \downarrow$

Ионы магния (Mg^{2+}), взаимодействуя с гидроксильными ионами, выделяются в осадок в виде труднорастворимого гидрата окиси магния $[\text{Mg}(\text{OH})_2]$:



В молекулярной форме реакции, протекающие при известковании, могут быть выражены следующими уравнениями:

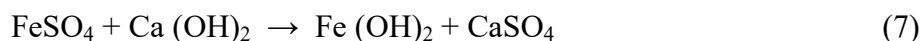


Щелочность сырой (окской) воды обусловлена в основном бикарбонат-ионами (HCO_3^-), находящимися в состоянии химического равновесия с угольной кислотой и карбонатами [2].

При вводе извести значение pH обрабатываемой воды увеличивается, при этом по pH этой воды можно косвенно судить о доле извести и о протекающих реакциях.

При pH до 8,3 происходит связывание углекислоты по уравнению реакции (6), при pH $8,3 \div 10,3$ идут преимущественно реакции (1) и (3), реакции с осаждением магния (2), (4), (5) происходят в основном при pH $> 10,3$.

При введении в воду наряду с известью раствора железного купороса ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) происходит его гидролиз – окисление растворённым в воде кислородом и образование гидроксида железа (нерастворимого осадка, имеющую рыхлую пористую поверхность).



$\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ разрушает электростатическое равновесие коллоидной системы и происходит коагуляция органических соединений исходной воды.

Если вместе с коллоидными веществами в воде имеются взвешенные грубодисперсные частицы, то образовавшиеся хлопья с коагулированных коллоидов обволакивают эти взвешенные частицы и вместе с ними выпадают в осадок.

За счет коагуляции окисляемость воды, характеризующаяся наличием в воде органических веществ, понижается на $60 \div 80$ %. Одновременно из воды удаляются тонкодисперсные и взвешенные вещества.

Для разделения твердой и жидкой фаз и сгущения шламовых вод в качестве флокулянта используется полиэлектrolит. Обессоливание осуществляется ионообменным методом, сущность которого состоит в способности органических материалов – ионитов (синтетическими ионообменными смолами, изготовленными в виде гранул размером $0,2 \dots 2$ мм.) – вступать в ионный обмен с растворенными в воде солями.

Способность ионитов к реакциям ионного обмена основана на особой структуре их молекул, состоящей из твердой нерастворимой молекулярной сетки, имеющей соответствующий электрический заряд, и ионов противоположного заряда.

Ионы противоположного заряда находятся вблизи этого твердого каркаса, они имеют ограниченную подвижность и способны обмениваться с растворенными в воде ионами такого же заряда.

При фильтровании через ионит обрабатываемой воды происходит его постепенное истощение т.е. обменные ионы, находящиеся в ионите, заменяются ионами, содержащимися в обрабатываемой воде.

Этот процесс происходит в ограниченном по высоте слое, который называется работающим слоем. Высота работающего слоя зависит от типа ионита, скорости фильтрации воды и её состава.

Для обработки воды применяют сильнокислотные и слабокислотные карбоксильные катиониты, сильноосновные и слабоосновные аниониты.

Иониты, в зернах которых при ионообменном процессе происходит обмен катионов, называют катионитами, если обмен анионов – анионитами. Н-катионитный предвключённый фильтр (Н-пред.) предназначен для разрушения в осветленной воде бикарбонатной щелочности с одновременным поглощением эквивалентного количества катионов жесткости.

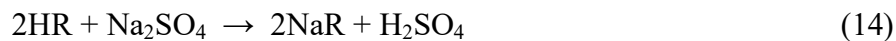
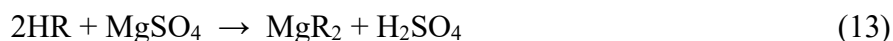
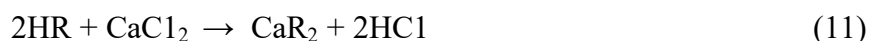
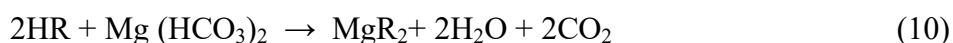
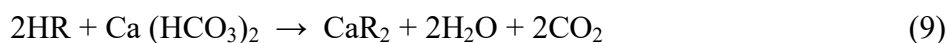
В Н-катионитных предвключённых фильтрах происходит разрушение бикарбонатного иона со снижением карбонатной жесткости (щелочности) до $0,2 \div 0,3$ мг-экв/дм³.

В отличие от обычного процесса Н-катионирования, при котором на регенерацию берется избыток кислоты в $1,5 \div 2,0$ раза больше теоретического, в этом процессе удельный расход кислоты на регенерацию несколько выше теоретического и составляет $1,1 \div 1,2$.

При этом верхние слои отрегенируемого катионита будут содержать обменный катион (H^+), а в нижних слоях останутся ранее задержанные ионы (Ca^{2+}), (Mg^{2+}), (Na^+).

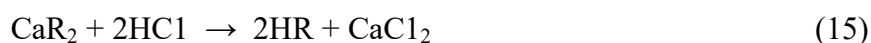
При фильтровании воды в верхних слоях катионита, отрегенированного небольшой дозой кислоты, происходят все обычные реакции ионного обмена:

Протекающие реакции могут быть записаны следующим образом:



R – условное обозначение катионита, где обменным катионом является ион (H^+).

В результате этих реакций образуются сильные минеральные кислоты и угольная кислота. Проходя неотрегенированные слои катионита, ионы водорода сильных минеральных кислот обмениваются на ионы (Ca^{2+}), (Mg^{2+}), (Na^+) по уравнениям:



и т.д. происходит как бы регенерация, а затем вновь образуются те же соли, что были в исходной воде [2].

Таким образом, можно считать, что при незначительной дозе кислоты на регенерацию происходит только разрушение связанной углекислоты (уравнение 9 и 10) и удаляются связанные с бикарбонатом катионы.

Достоинства метода электрокоагуляции: компактность установок и простота управления, отсутствие потребности в реагентах, малая чувствительность к изменениям условий проведения процесса очистки (температура, pH среды, присутствие токсичных веществ), получение шлама с хорошими структурно-механическими свойствами.

Недостатком метода является повышенный расход металла и электроэнергии.

Электрофлотация

Метод электрофлотационного повышения качества очистки основывается на переносе взвешенных частиц из объема на поверхность воды с помощью пузырьков газа, а сами пузырьки H_2 и O_2 берут свое начало от электродов.

Из-за существующей высокой дисперсности пузырьков газ может захватывать с собой мельчайшие частицы, и даже ионы, так как существующие в воде загрязнения приобретают хлопьевидную форму и удаляются без каких-либо помех [3].

Однако, все же главную роль занимают пузырьки, образованные на катоде, так как при применении электрофлотации размеры пузырьков водорода значительно меньше (диаметры колеблются всего лишь от 20 до 100 мкм), чем при использовании других методов флотации. Размер пузырька строго зависит от краевого угла смачивания, а также от кривизны поверхности электродов.

Если необходимо получить определенный размер пузырьков, в таком случае нужно правильно произвести подбор материала, а также диаметр проволоки катода и выставить необходимую плотность тока (от 200 до 260 А/м², а газосодержание - около 0,1%).

Достоинствами электрофлотации следует считать возможность получения тонкодиспергированных пузырьков газа, что позволяет ускорить процесс и улучшить качество очистки воды.

Однако существует и недостаток - излишнее потребление электроэнергии.

Анализируя полученные данные, можно отметить следующее:

В установках водоподготовки для повышения качества очистки следует использовать методы электрокоагуляции и электрофлотации в tandem, для достижения наилучшего эффекта повышения качества очистки воды, а также облегчения и ускорения основного процесса.

Включая в схему очистки воды на участке ХВП электрохимические методы можно корректировать физико-химические свойства обрабатываемой воды, а также следует отметить, что данные технологии существенно повышают технологичность процесса очистки. Следует отметить, что во многих случаях электрохимические методы способны даже исключить «вторичное» загрязнение воды анионными и катионными остатками, что характерно для реагентных методов.

Библиографический список

1. Назаров, В.Д. Водоснабжение в нефтедобыче/ В.Д. Назаров, Л.М. Гурвич, А.А. Русакович. - Уфа: ООО «Виртуал», 2013. - 508 с.
2. Технологический регламент установки Химводоочистки (для цеха № 2 комплекс глубокой переработки нефти) цеха №12. № П4-02.03-20.02-ТР/28.
3. Хохрякова Е.А., Резник Я.Е. Водоподготовка / Под ред. д.т.н. С.Е. Беликова. - Москва: Издательский Дом «Аква-Терм», 2017. - с. 15-18.
4. Яковлев С.В., Красноборода И.С. Технология электрохимической очистки воды. / С.В. Яковлев. - Л. Стройиздат. 2008. - 312 с.

УДК 621.7; ГРНТИ 61.01

ПЕРЕОБВЯЗКА ПЕЧИ П-101А УСТАНОВКИ Л-24/600 С ДВУХПОТОЧНОЙ СХЕМЫ НА ОДНОПОТОЧНУЮ

Е.А. Зайцев

*Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань, horek.colupaeva@yandex.ru*

Аннотация. Целью проекта является обоснование оптимизации реакторного блока, в частности, технологических печей на установке гидроочистки авиакеросина Л-24/600 АО «РНПК», для снижения нагрузки и потребления топлива на технологических печах установки.

Ключевые слова: односкатная шатровая печь, змеевик печи (двухпоточный и однопоточный).

RE-LINKING OF THE P-101A FURNACE OF THE L-24/600 INSTALLATION FROM A TWO-FLOW SCHEME TO A SINGLE -FLOW ONE

E.A. Zaitsev

*Ryazan State Radio Engineering University named after V. F. Utkin,
Ryazan, Russian Federation, horek.colupaeva@yandex.ru*

Abstract. The aim of the project is to substantiate the optimization of the reactor unit, in particular the technological furnaces at the L-24/600 jet fuel hydrotreatment unit of JSC "RNPK" to reduce the load and fuel consumption at the technological furnaces of the unit.

Keywords: single-pitched tent furnace, furnace coil (two-flow and single-flow).

Предмет исследования – печь установки гидроочистки прямогонной керосиновой фракции Л-24/600.

Область исследования – оптимизация печи П-101А на установке Л-24/600.

Целью проекта является обоснование оптимизации реакторного блока, в частности технологических печей на установке гидроочистки авиакеросина Л-24/600 АО «РНПК» для снижения нагрузки и потребления топлива на технологических печах установки.

Данная цель достигается решением следующих задач:

- изучить технологический процесс установки гидроочистки Л-24/600 АО «РНПК»;
- провести поверочный гидравлический расчет, змеевиков печей реакторного блока, установки гидроочистки Л-24/600;
- предложить и обосновать новую энерго- и ресурсосберегающую технологию, позволяющую уменьшить тепловую нагрузку и расход топлива;
- оценить эффект от предложенной модернизации.

Актуальность работы обусловлена тем, что растет спрос на топливо заданного качества, обеспечивающего бесперебойную работу ракетных и авиационных двигателей. Также необходимо добиться снижения нагрузки и потребления топлива на технологических печах установки.

Нефтеперерабатывающие заводы в России, как и в других странах по всему миру, сталкиваются со многими проблемами. Главные проблемы состоят в рационализации производственных возможностей, улучшении качества продуктов систем контроля и оптимизации производства, модернизации существующих производств, повышении надежности и эффективности эксплуатации, а также в достижении более строгих показателей по охране окружающей среды и безопасности производства.

В связи с политикой энергосбережения на любом нефтеперерабатывающем предприятии необходимо предусматривать мероприятия по экономии материальных и энергетических ресурсов. Эти мероприятия должны включать в себя использование тепла отходящих потоков, внедрение новых экономических установок, реконструкцию уже существующих технологий, замену отдельных узлов и аппаратов на более совершенные [1].

Каждый год требования к экологическим характеристикам топлив ужесточаются во всем мире. Особенно жестко нормируются показатели по содержанию серы, ароматических и олефиновых углеводородов, как в бензине, так и керосине.

Совершенно очевидна необходимость удовлетворения всех требуемых эксплуатационных характеристик керосинов, которые обеспечивают бесперебойную работу ракетных и авиационных двигателей. К числу важнейших из них относятся: теплота сгорания, плотность, термическая стабильность, противоизносные, низкотемпературные свойства и др.

Именно поэтому гидроочистка нефтяных дистиллятов является наиболее распространенным процессом на предприятиях по переработке сернистых и высокосернистых нефтей. Основной целью гидроочистки является уменьшение содержания серо-, азот-, кислородсодержащих и металлосодержащих соединений.

Промышленные процессы основаны на контактировании сырья с активными катализаторами, в основном, с алюмокобальтмолибденовыми и алюмоникельмолибденовыми. В результате 97 % исходного сырья превращается в очищенный продукт, одновременно образуется незначительное количество низкооктанового бензина, сероводорода, углеводородных газов и других продуктов.

Установка гидроочистки авиакеросина Л-24/600 построена в 1967 г. Генеральным проектировщиком установки является институт «ЛЕНГИПРОНЕФТЕХИМ».

Установка состоит из двух идентичных блоков, которые предназначены для переработки фракции керосиновой прямогонной и удаления сернистых, кислородосодержащих и азотистых соединений из дизельных и керосиновых фракций путем деструктивной гидрогенизации.

Целью проекта является обоснование переобвязки печи П-101а с двухпоточной схемы на однопоточную, на установке гидроочистки авиакеросина Л-24/600 АО «РНПК» для снижения нагрузки и потребления топлива на технологических печах установки.

Для достижения цели исследования ставятся следующие задачи:

- изучить технологический процесс установки гидроочистки авиакеросина Л-24/600 АО «РНПК»;
- провести поверочный гидравлический расчёт змеевика печи установки гидроочистки авиакеросина Л-24/600;
- проанализировать потребление топливного газа по «Асоду»;
- оценить экономический эффект от предложенной модернизации.

Оба блока установки Л-24-600 абсолютно одинаковы по аппаратурному оформлению и взаимозаменяемы при очистке фракции керосиновой прямогонной.

При переработке фракции керосиновой прямогонной сырье 1 блока поступает в емкость прямого питания Е-1 с установок АВТ-1, АВТ-2, АВТ-3, АВТ-4, АТ-6. Емкость Е-1 работает под давлением водородсодержащего газа, который поступает в верхнюю часть емкости через клапан-регулятор, регистрируется и регулируется.

Давление в Е-1 поддерживается в пределах $0,5-2,0 \text{ кгс/см}^2$. На линии подачи водородсодержащего газа установлен предохранительный клапан, который открывается при давлении $4,3 \text{ кгс/см}^2$ в случае резкого повышения давления в емкости Е-1 и сбрасывает избыток газа в факельную емкость Е-102.

Сырье подается в трубное пространство теплообменников Т-201, где нагревается до $80-90^\circ\text{C}$ за счет тепла стабильного гидрогенизата, и далее, в тройник смешения на смешение с водородсодержащим газом, который подается с какой-либо из установок каталитического риформинга.

После смешения газосырьевая смесь проходит межтрубное пространство теплообменников высокого давления Т-104, Т-103, Т-102, где подогревается за счет продуктов реакции до температуры 205°C и поступает в печь П-101.

Из печи П-101 газосырьевая смесь, нагретая до 280°C поступает в реактор Р-101. Реакции гидроочистки (температура в зоне реакции: 270-350°C) идут с небольшим выделением тепла, которое компенсируется теплотерями реактора в окружающую среду.

Из реактора Р-101 газопродуктовая смесь направляется в трубное пространство подогревателя Т-101 низа колонны К-101. Часть продукта идет помимо Т-101 в Т-105, Т-107. Этот поток отдает тепло поступающей газосырьевой смеси в Т-102, Т-103, Т-104.

Газопродуктовая смесь с температурой 100-170 °С поступает в горячий сепаратор С-101, где происходит разделение водородсодержащего газа и гидрогенизата.

Отделившийся ВСГ с верха С-101 направляется в воздушный холодильник ВХ-1, где охлаждается до 60 °С, а гидрогенизат поступает в холодный сепаратор С-102.

ВСГ из сепаратора С-102 направляется в заводскую топливную сеть, либо на установки гидроочистки дизельного топлива. ВСГ из сепаратора С-102 направляется в заводскую топливную сеть, либо на установки гидроочистки дизельного топлива.

Отделившийся в сепараторах С-101 гидрогенизат объединяется с потоком из С-102 (и направляется в трубную часть теплообменников Т-105, Т-106, Т-107 на загрузку в отпарную колонну К-101.

В колонне К-101 от гидрогенизата отпариваются сероводород, влага, углеводородные газы. С верха колонны К-101 (К-101А) отпаренные продукты с температурой до 145 °С через воздушный холодильник ВХ-1 поступает в сепаратор С-103, откуда насосом ЦН-7 возвращается в колонну К-101 в качестве орошения. Балансовый избыток через клапан-регулятор уровня С-103 откачивается на установку ЛЧ-24-7. Есть возможность откачивать избыток отгона по линии некондиции в сырьевую емкость Е-1. Также возможен сброс избытка отгона по линии некондиции в сырьевую емкость Е-2.

С низа колонны К-101 стабильный гидрогенизат проходит по межтрубному пространству теплообменников Т-105, Т-106, Т-107, где отдает тепло нестабильному гидрогенизату, поступает на прием насоса ЦН-11, проходит межтрубное пространство теплообменников Т-201, где отдает тепло сырью, далее проходит через воздушный холодильник ВХ-1, доохлаждается в холодильниках Х-102, Х-103 и с температурой 40-60 °С через клапан-регулятор уровня низа К-101 выводится на узел дозирования присадок или в цех № 11.

Углеводородный газ из С-103 направляется на узел очистки углеводородного газа в сепаратор С-201.

В случае если не работает узел очистки газа, углеводородный газ из С-103 ввиду высокого содержания сероводорода сбрасывается на факел (сброс согласовывается).

Газовый конденсат из С-201 по показанию уровнемера перепускается в факельную емкость Е-102.

Углеводородный газ с верха С-201 поступает в нижнюю часть абсорбера К-201. В верхнюю часть абсорбера К-201 противотоком подается 25-50 % раствор МДЭА с установки Л-24-6. Насыщенный раствор МДЭА поступает на прием насосов ЦН-14 и откачивается на установку Л-24-6 на блок регенерации насыщенного раствора МДЭА [2].

Очищенный углеводородный газ сверху абсорбера К-201 поступает в сепаратор отбойник С-202. Из С-202 углеводородный газ направляется в сепаратор топливного газа С-104 и далее через подогреватель топливного газа Т-110 с температурой 80÷150 0С поступает к печам П-101 установки.

Насыщенный раствор МДЭА из сепаратора С-202 насосом ЦН-14 откачивается на установку Л-24-6. Откачка производится периодически.

Одним из вариантов оптимизации реакторного блока на установке гидроочистки авиакеросина Л-24/600 может быть переобвязка печи П-101а с двухпоточной на однопоточную.

В результате переобвязки печи 2 блока установки получают следующие результаты (таблица 1).

Таблица 1. Основной параметр – перепад давления однопоточной и двухпоточной схем

Основные параметры	Значение	
	<u>Двухпоточная схема</u>	Однопоточная схема
Перепад давления кгс/см ²	1	2,3

По данным из графиков, взятых из «Асоду», можно определить потребление топливного газа. На рисунке 1 на графике показан расход печи П-101а, так как 1 блок установки находился в коммерческом простое, а на рисунке 2 изображено уже потребление печей П-101 (однопоточной) и П-101а (двухпоточной), потребляющих топливный газ вместе.

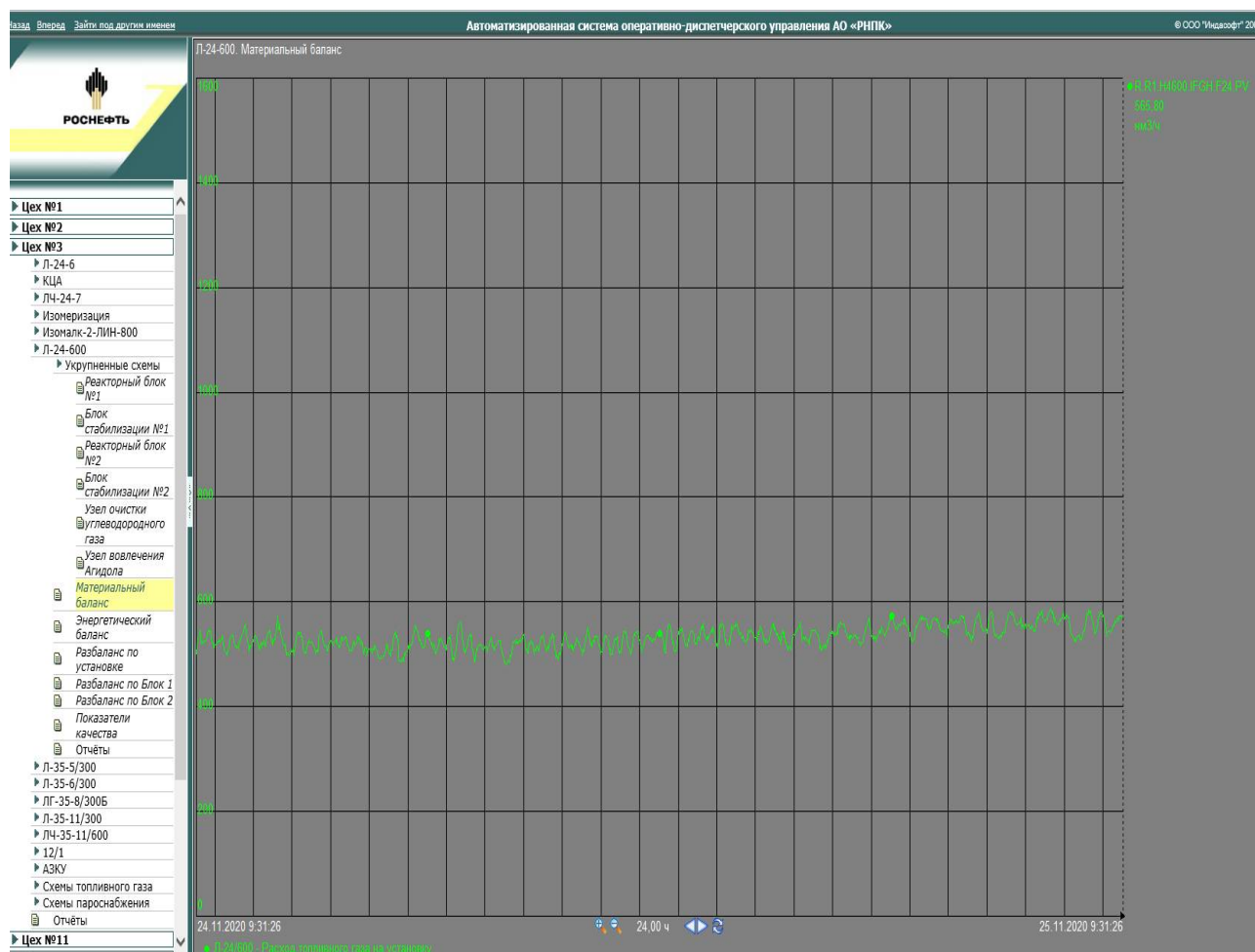


Рис. 1. Расход топливного газа при работе печи П-101а установки Л-24/600

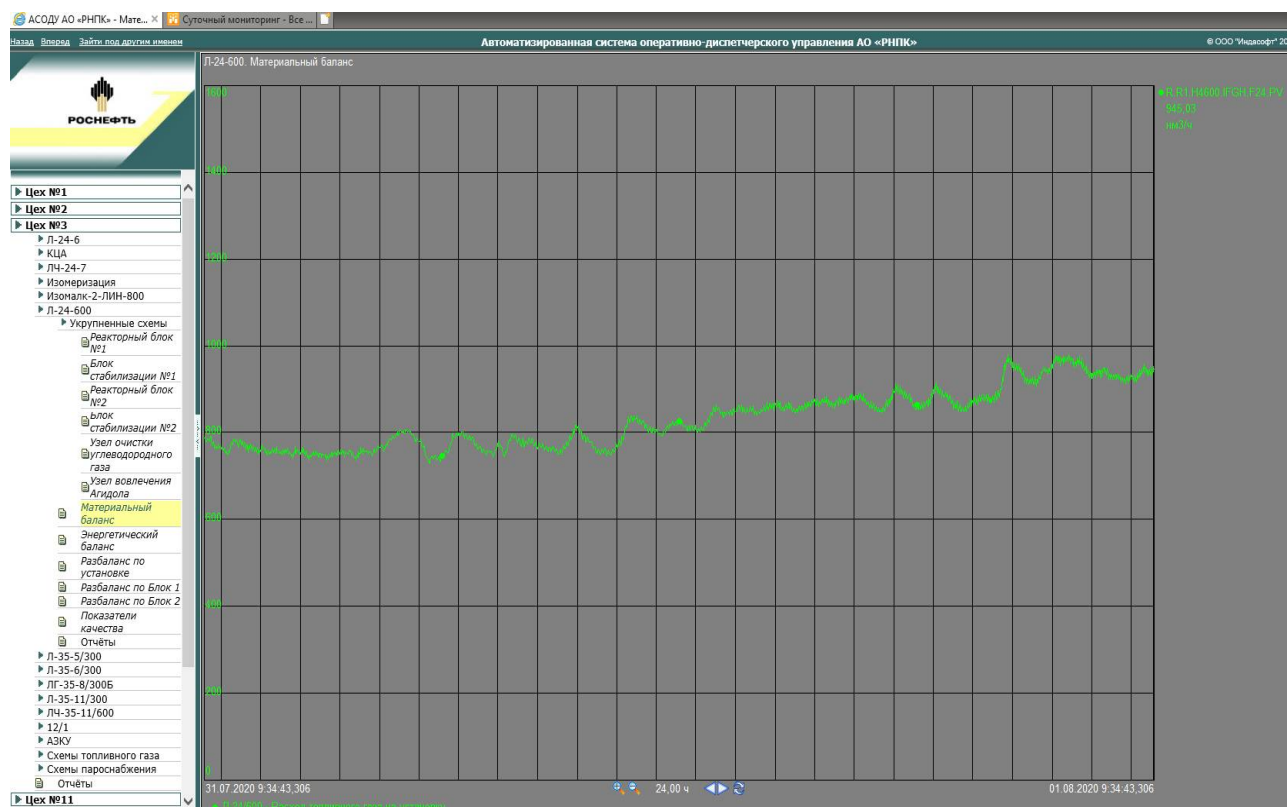


Рис. 2. Расход топливного газа при работе печей П-101 и П-101А установки Л-24/600

В таблице 2 с использованием данных [3] приведены технико-экономические показатели переобвязки печи П-101а.

Таблица 2. Технико-экономические показатели переобвязки печи П-101а

Основные параметры	Значение	
	<u>Двухпоточная схема</u>	Однопоточная схема
Количество потребляемого топливного газа $\text{nm}^3/\text{час}$	565	405
Плотность топливного газа	0,8 $\text{кг}/\text{м}^3$	
Разница потребления топливного газа после <u>переобвязки</u> $\text{т}/\text{час}$	0,12	
Стоимость тонны топливного газа, руб.	6948	
<u>Экономия составляет руб./час</u>	834	
<u>Затраты млн руб.</u>	2,3	
<u>Окупаемость мес.</u>	3	

Проектная работа на тему: «Переобвязка печи П-101а установки Л-24/600 с двухпоточной схемы на однопоточную» АО «РНПК» для снижения нагрузки и потребления топлива на технологических печах установки выполнена в соответствии с заданием.

В рамках проектной работы были изучены и проанализированы особенности технологического процесса установки гидроочистки авиакеросина Л-24/600 АО «РНПК», проведён поверочный гидравлический расчёт змеевиков печей: П-101 и П-101а и на основании литературных данных и исследования предложена оптимизация, а именно переобвязка печи П-101а

реакторного блока. Рекомендуются переобвязка сокращается потребление топливного газа на 0,12 т/час, а вырученная за продажу газа прибыль, окупит переобвязку за 3 месяца.

Библиографический список

1. Герасименко А.М., Жадановский Н.Б., Финелонов В.П. Гидроочистка нефтепродуктов. - М.: Гостоптехиздат, 1962. - 133 с.
2. Технологический регламент Л-24/600.- 198с.
- 3 Кузнецов А.А., Кагерманов С.М., Судаков Е.Н. Расчеты процессов и аппаратов нефтеперерабатывающей промышленности. - М.: Химия, 1974. - 344 с.

УДК 661.716; ГРНТИ 61.51.17

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БИПОЛЯРНЫХ РАСТВОРИТЕЛЕЙ С ЦЕЛЮ ПОЛУЧЕНИЯ АРОМАТИЧЕСКИХ УГЛЕВОДОРОДОВ

И.И. Кошелев*, Г.И. Мельник**

**Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань, ivan141337@bk.ru*

*** Московский политехнический университет, Рязанский институт (филиал)
Российская Федерация, Рязань, galame@yandex.ru*

Аннотация. В работе рассматривается возможность использования различных биполярных растворителей, как в чистом виде, так и в составе многокомпонентной смеси, с целью получения ароматических углеводородов в нефтепереработке.

Ключевые слова: биполярные растворители, ароматические соединения, анализ нефтепродуктов, процесс экстракции бензинов.

THE USE OF BIPOLAR SOLVENTS FOR THE PRODUCTION OF AROMATIC HYDROCARBONS

I. I. Koshelev*, G.I. Melnik**

**Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,
Russia, Ryazan, ivan141337@bk.ru*

***Moscow Polytechnic University, Ryazan Institute (branch)
Russia, Ryazan, galame@yandex.ru*

The summary. The paper considers the possibility of using various bipolar solvents, both in pure form and as part of a multicomponent mixture, in order to obtain aromatic hydrocarbons in oil refining.

Keywords: bipolar solvents, aromatic compounds, analysis of petroleum products, gasoline extraction process.

С целью выделения низкомолекулярных ароматических веществ, таких как бензол, толуол и сольвент, в промышленности применяется процесс экстракции биполярными растворителями. Растворитель должен быть выбран по таким критериям, как технологические, экономические и экологические, так же должен обладать способностью к регенерации, обладать достаточно нейтральным по показателю рН, что в совокупности и определяет целесообразность его применения в производстве. На данный момент, таких растворителей найти не удалось. В качестве экстрагентов применяются этиленгликоль, диэтиленгликоль (ДЭГ), триэтиленгликоль (ТЭГ), сульфолан, N-метилпирролидон (НМП), N-формилморфолин (НФМ), ацетонитрил, пентан, ацетон, метилсульфоксид [1].

Наиболее распространённым биполярным растворителем процесса экстракции в России долгие годы был диэтиленгликоль (ДЭГ), позднее, его заменил более стабильный и обладающий большей селективностью триэтиленгликоль (ТЭГ). Но ТЭГ так же обладает низкой растворяющей способностью, что ведёт к большим соотношениям растворитель:сырьё, а это

показывает его экономическую нецелесообразность. Для решения проблемы в литературе [2-5] предлагается использование смешанных растворителей.

Технологи уже пытались повысить эффективность гликолей при помощи добавления экстрагентов с повышенной растворяющей способностью, одним из них был N – метилпирридон, а также диметилформамид. Это привело к снижению селективности процесса, снижению качества разделения и повышению углеводов в экстракте, приходилось увеличивать расход рисайкла, а это дало понижение экономических показателей. Как оказалось, гликоли способны образовывать различные связи с амидами, что может привести к проблемам узла регенерации растворителя [6-7].

В статьях [8-12] было предложено использование смеси ТЭГ с сульфоланом. По той причине, что эти два растворителя имеют схожие температуры кипения, имеют положительные отклонения от закона Рауля, что приводит к образованию азеотропной смеси с минимальной температурой кипения, а это означает, что может отпасть необходимость использования вакуумной отпарной колонны с целью регенерации растворителя. При использовании данной смеси растворителей повышается не только растворяющая способность, но и селективность, уменьшается расход рисайкла и необходимое соотношение экстрагента к сырью. Данная технология уже находит практическое применение на блоке экстракции ЛГ-35-8 в ООО "ПО "Киришинефтеоргсинтез". В итоге получилось перерабатывать дополнительное сырье – доксилольную фракцию с установки суммарных ксилолов. После того, как из риформата бензиновой фракции ректификацией будет выделена бензольная фракция, ее планируют направлять на экстракцию, что позволит решить проблему снижения содержания бензола в автомобильных бензинах [13]. Однако, недостаток данной схемы состоит в удалении насыщенных углеводов из экстракта простой колонной ректификации перед непосредственным отделением бензола от толуола с ксилолами. Для этого простую ректификацию можно заменить на азеотропную, то есть такую, при которой для разделения используется третий компонент, что так же ставит под вопрос такую реконструкцию на стандартных отечественных установках, предназначенных под ДЭГ или ТЭГ.

Несмотря на то, что метод оказался не таким эффективным на практике, как предполагалось, не остался без внимания такой растворитель как N-метилперридон, его можно встретить во многих работах, где он испытывается как самостоятельный растворитель, так и в качестве смеси N-метилперролидон-триэтиленгликоль-вода. Так в работе [14] была прекрасно описана методика эксперимента, где эффективность процесса экстракции описывалась по показателю степени извлечения ароматики:

$$\alpha = \frac{A_c - A_p}{A_c} \cdot 100\%$$

где α – степень извлечения ароматических углеводов в результате процесса экстракции;

A_c – масс. доля ароматических углеводов в сырье;

A_p – масс. доля ароматических углеводов в полученном рафинате.

В ходе исследования наблюдается ухудшение степени извлечения при добавлении воды к смеси и к чистому ТЭГу. У N-метилперролидона такой зависимости нет. По результатам исследования наблюдается существенная эффективность смесей этих двух растворителей, результаты степени извлечения ароматических углеводов представлены на рисунке.

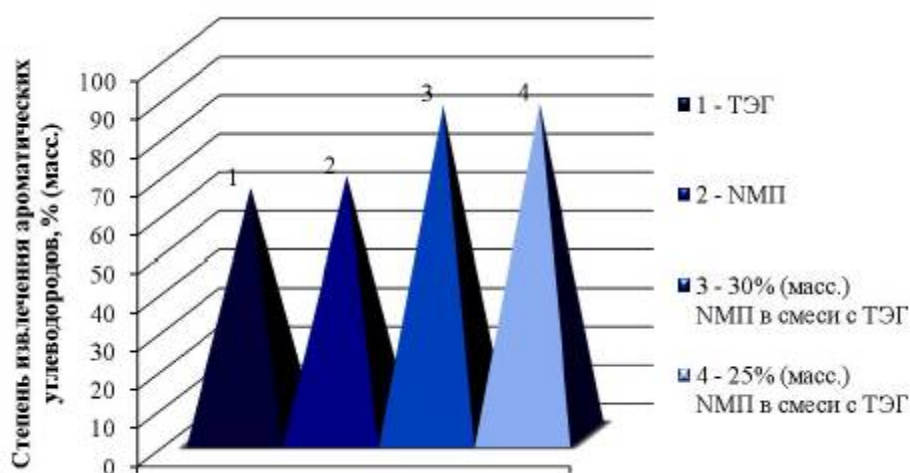


Рис. Результаты степени извлечения ароматических углеводородов

Моделирование в программе PROII v.9.1 показало схожие результаты по качеству извлечения, кроме того, был введён в такую систему рисайкл и тарелки для более ясного влияния на модель такой смеси. Данные такого моделирования показали, что предложенный комбинированный селективный растворитель N-МП–ТЭГ–вода в соотношении, примерно, 30:66:4 % масс. является целесообразной заменой существующего селективного растворителя ТЭГ–вода в соотношении 96:4 % масс. при проведении процесса экстракции ароматических углеводородов, ввиду того, что его использование позволяет снизить затраты на нагрев на 81,8 МДж/ч, а это снижает расход электроэнергии на 80 кВт/ч. Также, как утверждают авторы, незначительно увеличилось качество продукции [15]. Так же увеличилось количество подаваемого сырья в экстрактор, но уменьшилась степень извлекаемости ароматических углеводородов на 1%. Давление в самой экстракционной колонне снизилось на 600 кПа. Но остается открытым вопрос касательно регенерации такого растворителя, и не решена проблема взаимодействия ТЭГа с N – метилпирролидоном.

Заключение

Использование смешанных растворителей не требует существенных реконструкционных решений, что является большим преимуществом, так как многократно снижает затраты без потери качества. Но приводит к ряду других нерешённых задач, которые стоит рассмотреть. Сами же смеси растворителей показали себя с наилучшей стороны, как в лабораторных условиях, так и при моделировании процесса в специальных программах, некоторые уже зарекомендовали себя, непосредственно, на производстве. Однако, стоит рассмотреть и другие смеси растворителей, такие как триэтиленгликоль : диметилсульфоксид : вода.

Библиографический список

1. С.К. Огородников Справочник нефтехимика в двух томах. Л:Химия– 1978.– Т.2. – 496 с.
2. Гайле А.А., Сомов В.Е., Варшавский О.М. Ароматические углеводороды: Выделение, применение, рынок: Справочник. — СПб.:Химиздат, 2000. — 544 с.
3. Гайле А.А., Сомов В.Е., Залищевский Г.Д., Кайфаджян Е.А., Колдобская Л.Л. Разработка и совершенствование экстракционных и комбинированных процессов разделения и очистки нефтепродуктов // Нефтехимия. — 2007. — Т. 47, № 4. — С. 314-317.
4. Гайле А.А., Залищевский Г.Д., Гафур Н.Н., Семёнов Л.В., Варшавский О.М., Федянин Н.П., Кайфаджян Е.А. Выделение ароматических углеводородов из риформата // ХТТМ. — 2004. — № 3. — С. 10-13.
5. Козин В.Г., Мухамадиев А.А. Экстракция ароматических углеводородов смешанным растворителем // ХТТМ. — 2002. — № 2. — С. 28-31.
6. Jones D. S., Pujado P. R. Handbook of petroleum processing.— Dordrecht: Springer, 2006.— 1353 p.
7. Каратун О. Н., Капизова Н. Б. // Нефтепереработка и нефтехимия.— 2012.— №11.— С.24.
8. Марусина Н.Б., Гайле А.А., Семенов Л.В. // Журн.прикл. химии. 1996. Т. 69. № 7. С. 1163.

9. Марусина Н.Б., Гайле А.А., Семенов Л.В. // Журн. прикл. химии. 1994. Т. 67. № 8. С. 1311.
10. Сомов В.Е., Гайле А.А., Варшавский О.М. и др. Пат. РФ N2127718 C1 (20 марта 1999).
11. Гайле А.А., Ерженков А.С., Семенов Л.В. и др. // Журн. прикл. химии. 2001. Т. 74. № 10. С. 1618.
12. Залищевский Г.Д. Дисс... докт. техн. наук. СПб.:СПбГТИ, 2006.
13. Сомов В.Е., Гайле А.А., Залищевский Г.Д. и др. Пат. РФ N2177023 C1 (20 декабря 2001).
14. Н. Б. Капизова, О. Н. Каратун Исследование факторов, влияющих на степень извлечения ароматических углеводородов из риформата в процессе жидкостной экстракции // Башкирский химический журнал. -2013. Т.20, №2, - С. 37-41.
15. С.В. Покровская, В.В. Кудрявцев Влияние состава смешанного растворителя N-метилпирролидонтриэтиленгликоль-вода на качество получаемых экстракта и рафината при проведении процесса экстракции ароматических углеводородов из риформата // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия В: Прикладные науки. – 2016. - №3. – С. 147-152.

УДК 661.716; ГРНТИ 61.51.29

ВЛИЯНИЕ ФРАКЦИОННОГО СОСТАВА НА ПРОИЗВОДСТВО ЗИМНЕГО ДИЗЕЛЬНОГО ТОПЛИВА И НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫЕ СВОЙСТВА ПРИ ВВЕДЕНИИ ДЕПРЕССОРНЫХ ПРИСАДОК

К.А. Булекова, Е.В. Воробьева

*Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань, horek.colupaeva@yandex.ru*

Аннотация. В работе подробным образом рассматриваются влияние молекулярно-массового распределения n-парафинов в нескольких образцах базового дизельного топлива на основные показатели, а так же их влияние на эффективность действия депрессорно-диспергирующих присадок.

Ключевые слова: дизельное топливо (ДТ), фракционный состав, низкотемпературные свойства (НТС), депрессорно-диспергирующие присадки (ДДП).

INFLUENCE OF FRACTIONAL COMPOSITION ON PROCESSES OF PRODUCTION OF WINTER DIESEL FUEL AND LOW-TEMPERATURE PROPERTIES DURING THE INTRODUCTION OF DEPRESSOR ADDITIVES

K.A. Bulekova, E.V. Vorobyeva

*Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,
Russia, Ryazan, horek.colupaeva@yandex.ru*

The summary. The paper discusses in detail the influence of the molecular weight distribution of n-paraffins in several samples of base diesel fuel on the main indicators, as well as their influence on the effectiveness of the depressant-dispersant additives.

Keywords: diesel fuel (DF), fractional composition, low-temperature properties (LTS), depressant-dispersant additives (DDA).

В данной работе представлены исследования влияния молекулярно-массового распределения n-парафинов в двух образцах испытуемых дизельных топлив на предельные температуры фильтруемости (ПТФ), эффективность действия депрессорно-диспергирующей присадки (ДДП) Dodiflow 5416 и стабильность при холодном. Наблюдается, что в топливах узкого фракционного состава: диапазон выкипания 20-90% об. менее 100 °С) и с узкой «хвостовой фракцией» (диапазон выкипания 90%-КК) эффективность ДДП уменьшается (таблица).

Таблица. Физико-химические характеристики испытуемых топлив

Показатель	Образец топлива	
	№1	№2
Температура помутнения, °С	-8	-7
ПТФ, °С	-9	-9
Диапазон выкипания фракций, °С:		
90-20 % об	100	89
КК-90 % об.	28	25
Суммарное содержание н-парафинов, % мас., в том числе	22,41	21,65
C1 –C11	2,69	1,71
C12 –C17	13,38	12,41
C18 –C22	5,32	6,55
C18+	6,34	7,52
ПТФ, °С, при концентрации присадки:		
100 ppm	-19	-12
200 ppm	-27	-15
300 ppm	-29	-19
400 ppm	-	-24
500 ppm	-	-24

Из таблицы 1 можем сделать вывод, что при одинаковом значении ПТФ её депрессия при введении 300 ppm присадки в образец № 1 составляет 20 °С, а в образец № 2 – 10 °С. Этот результат можно объяснить тем, что в образце с широким диапазоном выкипания фракции при охлаждении происходит постепенная кристаллизация н-парафинов, поэтому ДДП успевает более полно проявить свою эффективность [1, 2].

Так же была проведена работа для определения оптимальной концентрации ДДП, необходимой для проведения теста на седиментационную устойчивость при холодном хранении [3]. Как известно, при хранении топлива с ДДП при температуре ниже температуры помутнения происходит выпадение кристаллов н-парафинов на дно цистерн, резервуаров или топливных баков машин. Это, несомненно, приводит к браку нижнего слоя топлива по значению ПТФ и, как следствие, к невозможности завести двигатель в зимних условиях после парковки, либо отобрать качественное топливо из резервуара или цистерны.

На сегодняшний момент существуют тесты проверки стабильности дизельного топлива против расслоения, как при коротком хранении топлива с депрессорной присадкой, имитирующие поведение топлива после ночной парковки, – европейский метод ARAL[4] и аналогичный ему метод ВНИИ НП [5], так и длительный тест, используемый для полной проверки работоспособности дизельного топлива при хранении.

При проведении испытаний было установлено, что для получения стабильного при длительном хранении дизельного топлива с ПТФ минус 32 °С, содержащего 300-400 ppm присадки Dodiflow 5416, оптимальная концентрация н-парафинов C₁₈-C₂₂ и C₁₈ + соответствует приблизительно 1,7- 2,0 % мас. и 1,9-2,2 % мас. соответственно. Увеличение или уменьшение содержания этих н-парафинов приводит к неудовлетворительной стабильности топлива с присадкой при холодном хранении.

Добавление к зимним дизельным топливам ОАО «Ангарская НХК» и ООО «РН-Комсомольский НПЗ» для арктического топлива утяжеленной фракции 215-370 °С в количестве 8-12 % для топлив класса 3 и 4-5 % для класса 4, содержащей 3,17 % мас. н-парафинов C₂₃-C₂₈, способствует повышению депрессии ПТФ при введении ДДП. Следовательно, установлено положительное влияние высокоплавких углеводородов нефтяного ряда на эффективность действия присадки [6].

Однако при длительном хранении зимнего дизельного топлива для обеспечения его устойчивости концентрацию ДДП необходимо увеличивать в 1,5-2 раза, а содержание н-парафинов C₁₈-C₂₇ должно быть не более 2,5 % для класса 3 и не более 2,0 % – для класса 4.

Так же в работе хочется отметить, что чем меньше цикличность средней молекулы аренов, тем выше коэффициент восприимчивости (K_v) дизельного топлива к депрессорной присадке:

$$K_v = C_{a.m.} \cdot H_p / C_{n.a.}, \quad (1)$$

где $C_{n.a.}$ и $C_{a.m.}$ – содержание н-алканов и моноциклоаренов;

H_p – угол наклона кривой разгонки топлива: $H_p = 0,0125(t_{10}-t_{90})$.

При $K_v = 1-2$ температура застывания дизельного топлива снижается от $-(6-10)^\circ\text{C}$ до $-(28-32)^\circ\text{C}$ при использовании присадки ВЕС-235, при $K_v > 2$ – от $-(10-12)^\circ\text{C}$ до $-(35-45)^\circ\text{C}$, а при $K_v = 7$ – до ниже -50°C . Присадка ВЕС-235 представляет собой 50%-ный раствор сополимера этилена с винилацетатом в ксилоле [7].

Нельзя оставить без внимания тот факт, что чем выше соотношение моноаренов к ди- и полициклоаренам, тем лучше восприимчивость дизельного топлива к депрессорным присадкам: желательно, чтобы это соотношение было больше 1,3-1,6 [8].

В зимних и арктических дизельных топливах н-алканы представлены в основном углеводородами C_8-C_{14} (66-88%) и сравнительно небольшим количеством $C_{15}-C_{18}$. При снижении содержания н-алканов $C_{15}-C_{18}$ в дизельном топливе до $< 3,1\%$ масс. наблюдается сильное снижение ПТФ и температуры застывания, в то время как температура помутнения снижается не так резко.

Наибольшую эффективность депрессорные присадки проявляют, когда дисперсионной средой для н-алканов являются моноциклоарены. По мере увеличения цикличности средней молекулы аренов и снижения содержания атомов углерода в боковых парафиновых цепях эффективность депрессора снижается, а в IV группе аренов (трициклические углеводороды с двумя ароматическими кольцами) депрессор, как правило, малоэффективен.

Узкие фракции меньше восприимчивы к депрессорам, чем топлива с широкими пределами выкипания.

При температуре $t \leq -50^\circ\text{C}$ крайним фактором при определении ПТФ становится вязкость. При повышении вязкости до примерно $100 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ фильтруемость топлива прекращается.

С повышением содержания смол в дизельном топливе повышается температура помутнения.

Для дизельных топлив, газойлей и керосиновых фракций с кинематической вязкостью $\nu_{50} = 1-30 \text{ мм}^2/\text{с}$ существует уравнение (2) для расчета температуры застывания:

$$t_{\text{заст}} = \frac{4,254(\ln \nu_{50})^2 + 48,337 \ln \nu_{50} - 59,5}{1 + 0,184 \ln \nu_{50}}. \quad (2)$$

Нами установлено, что в исследуемых образцах присутствуют помимо высокоплавких н-алканов и ряд высокоплавких компонентов ароматического характера – Тпл, $^\circ\text{C}$ (указана в скобках):

- нафталин (80,3),
- бензотиофен (32),
- 2-метилбензотиофен (52),
- изохинолин (25,6),
- 2-метилнафталин (35,1),
- 2-метилизохинолин (64,7),
- индол (52,5),
- дифенил (69),

- 2,6-диметилнафталин (110),
- 2,7-диметилнафталин (97),
- 2,3-диметилнафталин (104,5),
- 3-метилиндол (95),
- 2,6- диметилхинолин (60),
- 7-метилиндол (85),
- 2,3-диметилхинолин (72),
- дифениленоксид (86),
- 2,3,6 – триметилнафталин (102),
- 2-метилфлуорен (104),
- 1-метилфлуорен (87),
- дибензотиофен (97),
- фанантрен (99),
- антрацен (216),
- карбазол (245).

В результате удаления низкоцетановых аренов повышается цетановый индекс рафинатов и существенно снижается отношение концентраций би- и моноаренов (СБЦА/СМА). Последнее обстоятельство должно приводить к увеличению восприимчивости дизельного топлива к ДДП.

Существует ряд определенных проблем, связанных с применением зимних и арктических дизельных топлив:

1. При содержании воды ≥ 100 ppm наблюдается эффект «белых хлопьев» – кристаллы льда сорбируют часть высокоплавких n -парафинах, что приводит к забивке фильтров двигателей при низких температурах.

2. По ГОСТ 305 гарантийный срок хранения присадок 5 лет, а на пакеты для хранения присадок – всего 3 месяца. Присадки снижают стабильность дизельного топлива – окислительную стабильность, ухудшается цвет, коксуемость, повышается содержание пероксидов. В ГОСТ 32511-2013 гарантийный срок хранения дизельного топлива снижен до 1 года, в связи с чем необходима добавка стабилизирующих присадок.

На основании полученных данных можно сделать следующие выводы о влиянии нежелательных компонентов на процесс производства зимнего и арктического дизельного топлива и на их восприимчивость к введению ДДП:

1. Полициклоарены, азот- и сераорганические соединения, смолы, содержащиеся в прямогонной дизельной фракции, вызывают отравления и закоксовывание катализаторов в процессах гидроочистки, гидродепарафинизации и изомеризации n-алканов, что снижает их эффективность и приводит к необходимости частой реактивации катализаторов.

2. С увеличением содержания смол в дизельном топливе повышается температура помутнения, а с увеличением содержания би- и полициклоаренов снижается восприимчивость к депрессорно-диспергирующим присадкам – предельная температура фильтруемости при их добавлении снижается незначительно.

3. Предварительное удаление смол, гетероатомных соединений и полициклоаренов экстракцией селективными растворителями из сырья установки Л-24-10/2000 должно привести к повышению активности катализаторов, удлинению их межрегенерационного периода, значительному снижению расхода водорода, повышению восприимчивости дизельного топлива к введению депрессорнодиспергирующих присадок, увеличению цетанового числа, более пологой зависимости вязкости дизельного топлива от температуры, т.е. к менее значительному повышению вязкости при низких температурах.

Библиографический список

1. Васильев, Г.Г., Гаврилов Н.В., Лобашова М.М. Применение депрессорно-диспергирующих присадок при производстве дизельных топлив ЕВРО // Мир нефтепродуктов. 2013. №1. С. 5-9
2. Митусова Т.Н. Современное состояние производства присадок к дизельному топливу. Требования к качеству // Мир нефтепродуктов. 2009. № 9-10. С.
3. Абрамова, Л.В., Мартынова М.В. Система оценки седиментационной устойчивости дизельных топлив с депрессорными присадками при холодном хранении // Сб. трудов IV Междунар.научно-практ.конф. «Новые топлива с присадками», 31 мая-2 июня 2006 г., С.-Петербург. СПб, 2006.
4. Aral Short Sediment Test.Germany.
5. СТО 11605031-041-2010. Дизельное топливо с депрессорными присадками. Метод квалификационной оценки седиментационной устойчивости при отрицательных температурах. М.: ОАО «ВНИИ НП», 2010.
6. Лобашова М.М. Улучшение качества дизельных и котельных топлив присадками: автореф. дис. канд. техн. наук. М.: ОАО «ВНИИ НП», 2014. 27 с.
7. Веретенникова Т.Н., Энглин Б.А., Николаева В.Г. [и др.]. Восприимчивость дизельных топлив к депрессорной присадке ВЭС – 238 в зависимости от их углеводородного состава // Химия и технология топлив и масел. 1978. № 11. С. 17-20.
8. Иванов В.И., Тертерян Р.А., Лившиц С.Д. Депрессорная присадка к дизельным топливам // Химия и технология топлив и масел. 1983. № 8. С. 40-41.

УДК 543.3; ГРНТИ 31.19.15

ХИМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ pH, ОБЩЕЙ И ВРЕМЕННОЙ ЖЕСТКОСТИ НЕКОТОРЫХ РОДНИКОВ И ВОДОПРОВОДНЫХ КОЛОНОК ГОРОДА РЯЗАНИ

И.Н. Снежко, Е.А. Лубенников, А.Д. Маслов

*Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань, Maslov.a.d@mail.ru*

Аннотация. Работа посвящена определению водородного показателя pH, общей и временной жесткости некоторых питьевых родников и водопроводных колонок города Рязани. Целесообразность выполнения данной работы связана с тем, что в официальных источниках найти информацию о химическом составе указанных источников воды не удалось, как это, например, зачастую приводится для коммерческих точек розлива питьевой воды. При этом химический состав питьевой воды напрямую влияет на здоровье и нормальное самочувствие человека. В результате анализа 20 точек в разных районах города Рязани установлено, что значения pH находятся в биологической для человека норме. Определено, что наиболее жесткая вода находится в районе Михайловского шоссе и Дягилево, а наиболее мягкая - в селе Алеканово Рязанской области и в окрестностях БЦ "НИТИ". Также отмечено что в районе улицы 2-я Линия вода характеризуется повышенной карбонатной жесткостью.

Ключевые слова: питьевая вода, химический анализ воды, pH, общая жесткость, временная жесткость, титрование

CHEMICAL ANALYSIS OF pH, PERMANENT AND TEMPORARY HARDNESS OF SEVERAL SPRINGS AND STANDPIPES IN RYAZAN

I.N. Snezhko, E.A. Lubennikov, A.D. Maslov

*Ryazan State Radio Engineering University,
Russia, Ryazan, Maslov.a.d@mail.ru*

Abstract. This work is focused on determination of pH, permanent and temporary hardness of several springs and standpipes in Ryazan. The aim of the work is related with the fact that it was not possible to find information about the chemical composition of these water in official sources. As a result of the analysis of 20 points in different districts of Ryazan, it was found that the pH values are in the biological norm for humans. It was determined that the hardest water is located in the area of Mikhailovskoye Shosse and Dyagilevo, and the softest - in Alekanovo and near the

Business Center "NITI". It was also noted that in the area of 2 Liniya street, the water is characterized by increased carbonate hardness.

Keywords: drinking water, chemical analysis of water, pH, total hardness, temporary hardness, titration

Было замечено, что рязанцы часто используют родники и водопроводные колонки в качестве источника питьевой воды. Однако химический состав этих вод не известен и в официальных источниках не опубликован. А встречающиеся данные в научной литературе по Рязанской области и городе Рязани носят слишком обобщенный характер, отражая средние значения [1,2]. При этом у некоторых людей могут быть медицинские показания или противопоказания к употреблению жесткой или мягкой воды, воды с повышенной или пониженной кислотностью, чрезмерно или недостаточно обогащенной неорганическими и органическими веществами.

В связи с этим была сформулирована цель провести цикл работ по уточнению химического анализа указанных источников питьевой воды и, в первую очередь, определить такие показатели воды, как pH, общая и временная жесткость.

Общая жесткость отображает суммарное содержание катионов кальция Ca^{2+} и магния Mg^{2+} в воде. С химической точки зрения представляет сумму их молярных концентраций. Как правило, единицей размерности является моль/л или градус жесткости °Ж.

Временная или карбонатная жесткость отображает суммарное содержание карбонатных CO_3^{2-} и гидрокарбонатных ионов HCO_3^- в воде. С химической точки зрения представляет сумму их молярных концентраций. Единицей размерности является моль/л или градус жесткости °Ж.

По величине общей жесткости различают воду мягкую (до 2 °Ж), средней жесткости (2-10 °Ж) и жесткую (более 10 °Ж). По величине временной жесткости воду не классифицируют.

pH, или водородный показатель показывает кислотно-щелочное равновесие воды и определяет, как будут протекать химические и биологические процессы в организме. С химической точки зрения, pH характеризует молярную концентрацию ионов водорода. Величина безразмерная.

Вода с pH меньше 7 считается кислой, равной 7 - нейтральной, больше 7 - щелочной. Нормальный для питьевой воды диапазон pH лежит в пределах от 6 до 8,5.

Значения pH определялись при помощи pH-метра pH – 150МИ с использованием ионселективных водородных электродов. Значения общей жесткости определялись на основе ГОСТ 31954–2012 "Вода питьевая. Методы определения жесткости (с Поправкой)". Временная жесткость определялась путем титрования проб воды 1 М соляной кислотой в присутствии индикатора – метилового оранжевого. Растворы, приготовленные для анализа, были стандартизованы. Пробы воды были взяты в период с декабря 2020 по февраль 2021 г. Анализ каждой пробы был проведен в течение 24 часов с момента ее получения.

Результаты анализа некоторых источников представлены в таблице. Для наглядности в работе представлена карта города с указанием точек, откуда были взяты пробы воды.

Относительная погрешность результатов измерений составила 5%.

Значения pH воды в данных источниках оказались в пределах от 6 до 8 и соответствуют норме. Наиболее заметными оказались районы улицы Зафабричной с самым низким pH и Михайловского шоссе с самым высоким.

Наиболее жесткая вода с повышенным содержанием катионов кальция и магния обнаружена в колонках в районе Михайловского шоссе и Дягилево. Излишне мягкая вода течет из колонок в селе Алеканово, в окрестностях бизнес – центра НИТИ.

В районе улицы 2-я Линия временная жесткость оказалась выше общей жесткости. Ранее в некоторых источниках, например ГОСТ 6055-86 "Вода. Единица жесткости" в таких случаях предлагалось принимать значение карбонатной жесткости равным общей. Однако с

химической точки зрения, превышение карбонатной жесткости над общей означает избыток анионов карбонатов и гидрокарбонатов, образующих соли не только с катионами магния и кальция, но и другими, например железа. Характерной чертой воды в данной колонке является и повышенная цветность, что подтверждает вероятный избыток катионов железа или марганца.

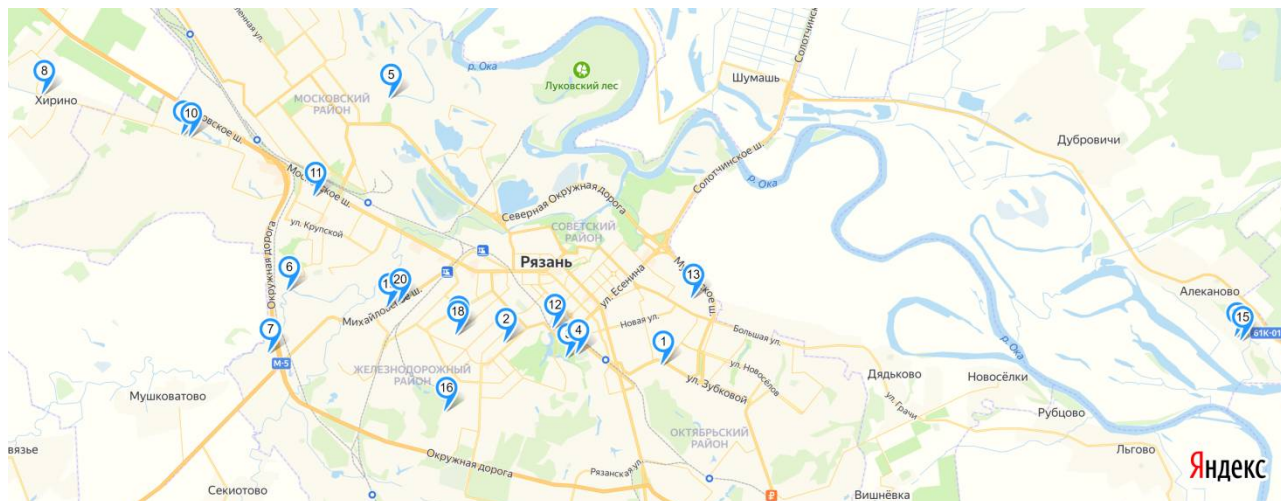


Рис. Карта родников и водопроводных колонок, из которых были взяты пробы питьевой воды

Таблица. Результаты анализа родников и водопроводных колонок на pH, общую и временную жесткость

№	Адрес	pH	Общ. ж, ммоль/л	°Ж	Вр. ж, ммоль/л	°Ж
1	Верхняя улица, 56	6,99	1,67	3,34	1,47	2,94
2	улица 2-я Линия	6,54	2,38	4,76	3,23	6,46
3	Мемориальный парк	6,79	2,98	5,96	2,06	4,12
4	Скорбященский проезд, 1А	7,66	2,79	5,58	2,45	4,9
5	улица Чапаева, 81	7,31	2,5	5	2,35	4,7
6	Московский. За 4-ым микрорайоном, улица Зафабричная, 7	6,5	2,98	5,96	2,1	4,2
7	Садоводческое товарищество Пищевик, 42	6,68	2,98	5,96	2,08	4,16
8	Хирино, 57	7,63	4,29	8,58	2,3	4,6
9	Коняево, 173	7,57	3,41	6,82	3,28	6,56
10	Коняево, 106	7,71	3,17	6,34	2,94	5,88
11	5-й коломенский проезд, 5	7,1	3,41	6,82	2,79	5,58
12	Введенская улица, 134	7,47	3,33	6,66	2,21	4,42
13	Кальная улица, 65	7,47	1,67	3,34	1,47	2,94
14	Центральная улица, 158, село Алеканово, Дубровицкое сельское поселение, Рязанский район	7,01	1,43	2,86	0,49	0,98
15	Центральная улица, 164, село Алеканово, Дубровицкое сельское поселение, Рязанский район	6,99	1,07	2,14	0,73	1,46
16	улица Кутузова, 12к1	6,52	3,93	7,86	1,47	2,94
17	3-й Новопавловский проезд, 12	7,32	2,62	5,24	1,96	3,92
18	улица Шевченко, 74	7,33	2,86	5,72	1,96	3,92
19	Михайловское шоссе, 224	7,8	4,05	8,1	2,45	4,9
20	Михайловское шоссе, 186	7,51	3,57	7,14	2,45	4,9

В следующих работах планируется включить в анализируемые параметры цветность, мутность, содержание нефтепродуктов, железа, хлоридов и нитратов, обратить внимание на

изменение этих величин в разные сезоны, а также расширить количество анализируемых источников питьевой воды.

Авторы обращают внимание, что приведенные значения не могут быть использованы в каких-либо официальных документах, так как получены не в сертифицированной лаборатории исключительно с целью информирования населения о примерном состоянии питьевой воды в некоторых родниках и колонках в различных частях города Рязани.

Библиографический список

1. Соловьев Д.А., Дементьев А.А., Ключникова Н.М., Прохоров Н.И. Гигиеническая характеристика химического состава воды подземных водоисточников Рязанской области // Вестник Российского государственного медицинского университета 5 (2018) 48-51
2. Соловьев Д.А., Дементьев А.А., Ляпкало А.А., Ключникова Н.М. Анализ качества питьевой воды водоразводящей сети в некоторых муниципальных образованиях Рязанской области // Вестник новых медицинских технологий. Электронное издание 3 (2019) 92-97

УДК 621.396; ГРНТИ 61.01

РАЗРАБОТКА ВИРТУАЛЬНЫХ АНАЛИЗАТОРОВ В УСЛОВИЯХ УДАЛЕННОГО РАЗМЕЩЕНИЯ ДАТЧИКОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ

В.В. Коваленко, Н.Ю. Кулавина, Г.А. Шашкина, Н.М. Рыжов

*Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Россия, Рязань, xt-kontakt@mail.ru*

Аннотация. В работе рассмотрены основные вопросы по разработке виртуальных анализаторов и синхронизации поступления параметров технологического процесса в виртуальные анализаторы.

Ключевые слова: виртуальный анализатор, взаимная корреляционная функция, регрессионная модель.

DEVELOPMENT OF VIRTUAL ANALYZERS IN THE CONDITIONS OF REMOTE PLACEMENT OF SENSORS OF TECHNOLOGICAL PARAMETERS

V.V. Kovalenko, N.Yu. Kulavina, G.A. Shashkina, N.M. Ryzhov

*Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,
Russia, Ryazan, xt-kontakt@mail.ru*

Annotation. The paper deals with the main issues related to the development of virtual analyzers and synchronization of the flow of process parameters to virtual analyzers.

Keywords: virtual analyzer, cross-correlation function, regression model.

Особенности разработки виртуальных анализаторов

В настоящее время значительное внимание уделяется системам усовершенствованного управления технологическими процессами (APC-системам, Advanced Process Control), применение которых снижает вариабельность процесса. Например, при опытно-промышленной эксплуатации [1] достигнуто снижение среднеквадратичных отклонений ряда ключевых показателей до 80%.

Основу APC-систем составляют многопараметрические контроллеры и виртуальные анализаторы качества продуктов технологических объектов. Применение виртуальных анализаторов при оптимизации параметров технологических процессов в режиме реального времени исключает применение дорогостоящих поточных анализаторов.

Виртуальные анализаторы можно представить следующей регрессионной моделью

$$\hat{y}=f(a_0, a_1, \dots, a_n, x_1, \dots, x_m), \quad (1)$$

где $\hat{y}$ – оценка показателя качества оптимизируемого продукта;

$a_0, a_1, \dots, a_n$ – параметры модели виртуального анализатора;

$x_1, \dots, x_m$ – технологические параметры оптимизируемого процесса;

n – количество параметров модели;

m – количество технологических параметров.

Регрессионный анализ широко применяется при обработке экспериментальных данных в разных сферах. Он предназначен для получения аналитического выражения, в котором одна величина y , называемая зависимой, определяется по нескольким независимым величинам (факторов) $x_1, x_2, \dots, x_n$.

Существуют различные регрессионные модели, определяемые выбором функции $f(x_1, x_2, \dots, x_n)$:

- простая линейная регрессия $\hat{y} = b_0 + b_1 x$;
- множественная регрессия $\hat{y} = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + \dots + b_{m-1} x_{m-1}$;
- полиномиальная регрессия $\hat{y} = b_0 + b_1 x + b_2 x^2 + \dots + b_{m-1} x^{m-1}$;
- регрессионная модель общего вида

$$\hat{y} = b_0 + b_1 f_1(x_1, x_2, \dots, x_n) + \dots + b_{m-1} f_{m-1}(x_1, x_2, \dots, x_n).$$

Данные регрессионные модели являются линейными. Некоторых нелинейные модели могут быть преобразованы в линейные. Выполнение линейного регрессионного анализа можно с помощью модуля Statistics/Multiple Regression.

Для улучшения качества модели применяется опция Method:

- методом пошагового включения переменных (Forward stepwise);
- методом пошагового исключения переменных (Backward step wise).

Данные методы целесообразно применять при большом количестве переменных. С помощью опции Displaying results просматриваются пошаговые и итоговые результаты регрессионного анализа.

Для оценки качества полученной модели применяется ряд показателей. Одним из них является коэффициент детерминации, равный квадрату коэффициента множественной корреляции. Чем ближе коэффициент детерминации к единице, тем качественнее построенная модель.

Для оценки адекватности регрессионной модели применяется F-критерий, по которому оценивают отношение дисперсии оценки модели к дисперсии остатка. На ряду с указанными оценками качества модели используются и другие показатели [2].

Синхронизация поступления параметров технологического процесса в виртуальные анализаторы

Для эффективной работы виртуального анализатора необходимо, чтобы технологические параметры $x_1, \dots, x_m$ синхронно поступали на его входы. Однако в некоторых случаях топография размещения датчиков не удовлетворяет данному требованию. В этом случае необходимо определить время запаздывания сигналов. Для определения времени задержки сигнала можно воспользоваться свойствами взаимной корреляционной функции. Рассмотрим это на примере (рис. 1).

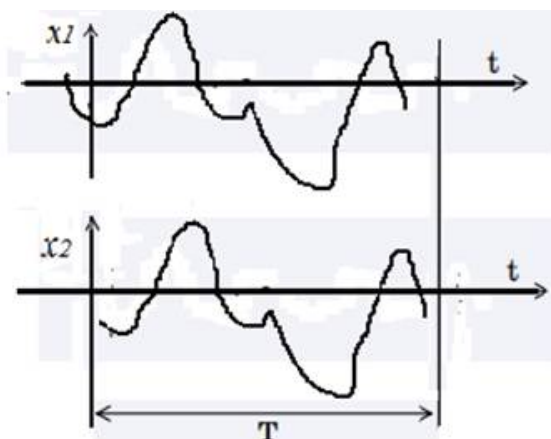
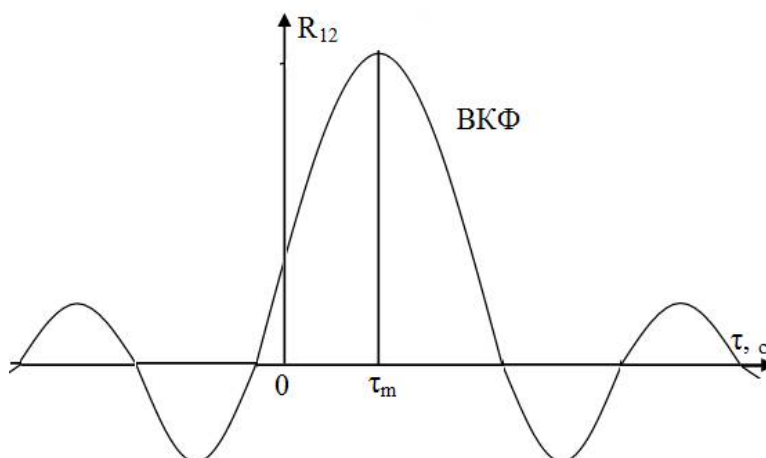


Рис. 1. К определению времени задержки сигнала

Необходимо определить время запаздывания сигнала x_2 относительно сигнала x_1 . Выражение для взаимной корреляционной функции для двух сигналов имеет вид

$$R_{12}(\tau) = \frac{1}{\sigma_{x1}\sigma_{x2}T} \int_0^T x_1(t)x_2(t+\tau)dt$$

Время рассогласования сигналов x_1 и x_2 определяется по виду взаимной корреляционной функции. График взаимной корреляционной функции имеет колоколообразную форму, по положению вершины которой определяется время запаздывания τ_m .

Рис. 2. График взаимной корреляционной функции $R_{12}(\tau)$

Из рисунка следует, что время запаздывания сигнала определяется положением максимума τ_m на кривой взаимной корреляционной функции (рис. 2).

Таким образом, применение данного подхода позволяет синхронизировать сигналы, поступающие на виртуальные анализаторы.

Библиографический список

1. Шумихин А.Г. Опыт разработки и внедрения систем усовершенствованного управления технологическими процессами нефтепереработки на базе виртуальных анализаторов качества/ А.Г. Шумихин, Д.А.Мусатов, С.С. Власов и др./Пермь: Вестник Пермского Национального Исследовательского Политехнического Университета «Химическая технология и биотехнология» №2/2016.
2. Стукач О.В. Программный комплекс Statistica в решении задач управления качеством: учебное пособие / О.В.Стукач; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2011. – 163с

УДК 665.756.5; ГРНТИ 31.19.29

СРАВНЕНИЕ СВОЙСТВ БИОДИЗЕЛЯ И ДИЗЕЛЬНОГО ТОПЛИВА ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЕГО В КАЧЕСТВЕ ТОПЛИВА

О.И. Сухарева*, Г.И. Мельник**

**Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань, osuxareva@yandex.ru*

*** Московский политехнический университет, Рязанский институт (филиал)
Российская Федерация, Рязань, galame@yandex.ru*

Аннотация. Для дизельных двигателей в последние годы начали широко использовать биологическое дизельное топливо - эфиры жирных кислот, в основном из растительных масел. В данной работе проведено сравнение физико-химических свойств биодизеля и дизельного топлива, проанализированы преимущества и недостатки, рассмотрены пути использования смесей топлив растительного происхождения с другими топливами.

Ключевые слова: биодизельное топливо; этерификация; дизельное топливо; растительные масла; метиловый эфир.

COMPARISON OF THE PROPERTIES OF BIODIESEL AND DIESEL FUEL FOR ITS USE AS FUEL

O. I. Sukhareva*, G.I. Melnik**

**Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,
Russia, Ryazan, osuxareva@yandex.ru*

***Moscow Polytechnic University, Ryazan Institute (branch)
Russia, Ryazan, galame@yandex.ru*

The summary. In recent years, biological diesel fuel - esters of fatty acids, mainly from vegetable oils, have been widely used for diesel engines. In this paper, the physicochemical properties of biodiesel and diesel fuel are compared, the advantages and disadvantages are analyzed, and the ways of using mixtures of vegetable fuels with other fuels are considered.

Keywords: biodiesel; esterification; diesel fuel; vegetable oils; methyl ether.

На сегодняшний день использование биодизеля в качестве топлива является актуальной темой в связи ограниченностью невозобновляемых источников энергии, таких как нефть, природный газ. Несмотря на то, что в последнее время внедряются новые технологии для повышения эффективности эксплуатации уже существующих топлив, разработка технологии получения возобновляемых энергоносителей придаст уверенности в завтрашнем дне.

Для начала надо понять, что такое биодизельное и дизельное топливо и разобраться в их физико-химических свойствах.

Биодизель и дизель - это органические продукты на основе углерода. Дизель образуется в результате процесса крекинга нефти, а биодизель - извлекается из растительных масел и в настоящее время используется в гораздо меньшей степени и более недоступен, чем дизель [1,2].

В таблице представлены основные физико-химические свойства биодизеля и дизельного топлива.

Таблица. Физико-химические свойства биодизеля и дизельного топлива

Показатели	Дизельное топливо	Биодизель
Плотность при $t\ 20^{\circ}\text{C}$, кг/м^3	820-850	875-900
Вязкость при $t\ 20^{\circ}\text{C}$, $\text{мм}^2/\text{с}$	3,5-6,0	3,5-5,0
Цетановое число	не ниже 45	50-55
Содержание серы	0,2-0,001	менее 0,001
Теплотворная способность, МДж/кг	42-43	37-38
Объемная теплопроизводительность, Дж/м^3	3,4	3,4
Температура застывания, $^{\circ}\text{C}$	-10	-9
Температура помутнения, $^{\circ}\text{C}$	-6	-3
Массовая теплопроизводительность, МДж/кг	2,8	2,7
Температура воспламенения, $^{\circ}\text{C}$	62	более 100

При сравнительном рассмотрении физико-химических свойств биодизеля и дизельного топлива выявлено, что биодизель имеет ряд преимуществ.

Преимущества биодизеля:

- сгорает практически без токсических отходов;
- снижается выделение углекислого газа;
- количество копоти уменьшается до 50%;
- обладает хорошими смазочными свойствами;
- не имеет неприятного запаха;
- пролитое на землю топливо на 90% разлагается микроорганизмами через 3 недели.

Кроме преимуществ, как и любой продукт, биодизель имеет ряд недостатков:

- очень маленький срок хранения (3-4 месяца);
- неморозостойкий;
- сырье для топлива необходимо выращивать, а для переработки требуются большие посевы;
- высокая себестоимость.

В России для производства биодизеля наиболее перспективно сырье рапс, так как благодаря природно-климатическим условиям обеспечивается достаточно высокая урожайность этой культуры [3,4].

Рассмотрим процесс получения биодизеля из рапса (рис.).

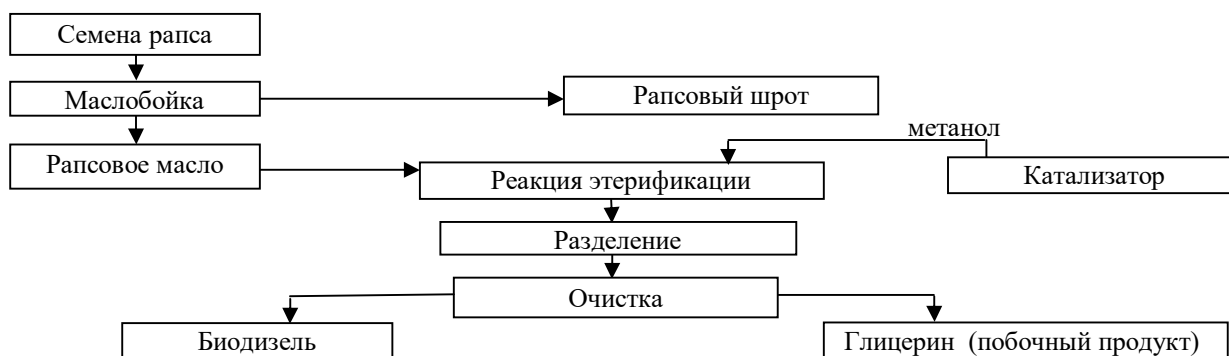


Рис. Схема получения биодизеля на примере рапса

Биодизельное топливо представляет собой метиловый эфир, который добывается путем химической обработки натуральных растительных веществ через процесс этерификации [5].

При переработке побочные продукты полезны, в данном случае глицерин широко используется в различных областях.

Переход на топлива растительного происхождения предполагается постепенный, путем смешивания их с уже используемым дизельным топливом, с увеличением концентрации, а в дальнейшем, в применении только топлив растительного происхождения.

В первую очередь необходимо выявить всевозможные пути использования смесей топлив растительного происхождения с другими топливами. Например, биодизель с дизельным топливом; биодизель с метанолом; растительные масла с метанолом [6,7].

При использовании таких топлив, и особенно их смесей, необходимо стремиться к получению оптимального состава по экономическим и экологическим параметрам [8,9].

Биодизель с дизельным топливом

Чем больше доля биодизеля в дизельном топливе, тем больше плотность, вязкость и температура вспышки полученной смеси. Кроме этого, повышается КПД двигателя и снижается дымность, но при этом увеличивается количество выделяемого оксида азота.

Для устранения этой проблемы можно прибегнуть к регулировке по углу опережения впрыскивания топлива.

Биодизель с метанолом

Использование метанола в качестве топлива для дизелей является весьма привлекательным, что объясняется наличием сырья и относительно низкой стоимостью метанола.

Метанол можно применять совместно с биодизелем, но до определенной концентрации метиловый спирт способен растворяться в растительном топливе. Поэтому, необходимо использовать обезвоженный метанол.

Чем выше концентрация метилового спирта, тем меньше плотность и вязкость и ниже температура вспышки. При увеличении концентрации метанола по отношению к биодизелю, ухудшается КПД двигателя и снижается уровень вредных выбросов.

Растительные масла с дизельным топливом

Применение такой смеси является важным этапом перехода к работе на сырье растительного происхождения. В настоящее время проводятся исследования эффективного использования различных смесей растительных масел. В ходе исследований получены неплохие результаты при добавлении 30% подсолнечного масла в дизельное топливо. Похожий эффект получен при добавлении рапсового масла в равных пропорциях.

Для успешного освоения этого вида топлива необходима государственная поддержка производителей биотоплив и растительного сырья, а также хозяйств, использующих данный вид топлива. Кроме этого, необходимо продолжать научно-технические работы по дальнейшему изучению наилучшего эффекта от применения биотоплив.

Библиографический список

1. Ключ О., Васильев И., Ростовская Н. Анализ показателей дизеля при работе на многокомпонентных смесях растительных масел с дизельным топливом // EKSPLOATACJA POJAZDÓW SAMOCHODOWYCH. – Szczecin: POLITECHNIKA SZCZECIŃSKA (Poland). - 2004. - NR 11. - P. 45-54.
2. Максимук, Ю.В. Вязкость и теплота сгорания дизельного биотоплива / Максимук Ю.В., Антонова З.А., Фесько В.В., Курсевич В.Н. //Журнал «Химия и технология топлив и масел». – 2009. – 27-30 с.
3. Матиевский Д. Д., Кулманаков С. П., Лебедев С. В., Шашев А. В. Применение топлива на основе рапсового масла в дизелях / Ползуновский вестник. Барнаул (Россия) - 2006.-№4.-С.118-127.
4. Останин, Л.М. Рапсовое масло – сырьё для производства биотоплива / Останин Л.М. // Журнал «Вестник Казанского технологического университета». – 2014. – 227 с.
5. Топливная композиция: А. с. 514885 СССР, МКИ С 10 L 1/18. / Мальцев А. Д. (СССР); - № 2079621/04; Заявлено 02.12.74; Оpubл. 25.05.76, Бюл. № 19. –3 с.).
6. Использование растительных масел и топлив на их основе в дизельных двигателях / В.А. Марков, С.Н. Деяннин, В.Г. Семенов и др. — М.: Инженер, 2011
7. Гуреев А.А., Азев В.С. Автомобильные бензины. Свойства и применение. — М.: Нефть и газ, 1996
8. Данилов А. М. Присадки и добавки. Улучшение экологических характеристик нефтяных топлив. - М.: Химия, 1996. – с. 232 с.
9. Лютко В., Луканин В.Н., Хачиян А.С. Применение альтернативных топлив в двигателях внутреннего сгорания. — М.: Изд-во МАДИ (ТУ), 2000.

МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ «СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В НАУКЕ И ОБРАЗОВАНИИ. ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ»

СЕКЦИЯ «СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ»

УДК 620.16; ГРНТИ 30.19.51

ПРОЧНОСТНОЙ АНАЛИЗ СТУПИЦЫ КОЛЕСА ИЗ ПОЛИАМИДА-6 ДЛЯ РОЛИКОВЫХ КОНЬКОВ

И.А. Бабушкин

*Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева,
Российская Федерация, Казань, bival2000@mail.ru*

Аннотация. В работе проведено исследование ступицы колеса для роликов из полиамида 6 на прочность с помощью программы Компас 3d v19. Были смоделированы карты результатов напряжения по Мизесу и карта результатов нагрузки.

Ключевые слова: напряжение по Мизесу, полиамид-6, ПА-6, ступица, прочностной анализ.

STRENGTH ANALYSIS OF POLYAMIDE-6 WHEEL HUB FOR ROLLER SKATES

I.A. Babushkin

*Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev,
Russia, Kazan, bival2000@mail.ru*

The summary. In this work the strength study of the wheel hub for rollers made of polyamide 6 was carried out using the Compass 3d v19 program. The von Mises stress result maps and the load result map were modeled

Keywords: von Mises stress, polyamide-6, PA-6, hub, strength analysis.

Колеса роликовых коньков состоят из ступицы, которая обычно изготавливается из нейлонового термопласта, и слоя полиуретана, который посредством литья наносится на ступицу. В данной работе было решено использовать в качестве материала ступицы полиамид 6 (ПА 6). Это конструкционный полимерный материал, обладающий хорошими прочностными и антифрикционными свойствами. Данный полиамид химически стоек к воздействию масел, бензина, спирта, слабых кислот, разбавленных и концентрированных щелочей, нетоксичен. ПА 6 имеет высокий уровень водопоглощения и низкую стойкость к солнечной радиации, что объясняет его недолговечность. Данная марка полиамида является наиболее распространенной в силу своей относительно низкой цены. ПА 6 используется для изготовления технических изделий, применяемых в машиностроении, автомобилестроении и других областях. ПА-6 на сегодняшний день является наиболее практичным заменителем различных сплавов цветной металлургии [1]. Капролоновые стержни, круги или капролон (полиамид-ПА-6) листовой, а также бруски и втулки, наиболее часто потребляемые изделия. Свойства капролона (полиамида ПА-6) в отличие от других полимеров, например, таких, как винилпласт, выше в разы. ПА 6, в зависимости от диапазона значений относительной вязкости, массовой доли экстрагируемых веществ и наличия модифицирующих добавок выпускается различными марками.

Форма ступицы была смоделирована в программе КОМПАС-3D v19 (рис. 1). Такая форма была выбрана исходя из формы ступицы роликовых коньков Oxelo FIT100 (рис. 2) с некоторыми изменениями. В созданной модели отсутствуют волнистые переходы, все составные части плоские, с острыми углами. В верхнем ободке отсутствуют отверстия. Пять

трапециевидных частей без отверстий удерживают основную нагрузку и выполняют поддержку наружного слоя. По середине наружного слоя выпирает ободок. Он сделан неслучайно, так как в нем должны быть отверстия, которые заполняет полиуретан при литье. Но в данной детали этих отверстий нет, так как они ухудшают прочностные свойства наружного слоя. По середине колеса есть отверстия под два подшипника АВЕС-7 (рис. 3), размеры которого 22.00мм x 22.00мм x 7.00мм. Подшипники вставляются с обеих сторон. В отверстия присутствуют пять трапециевидных деталей, по середине которых вставляется разделительная втулка, которая связывает и передает вращательный момент подшипников друг другу. Слой полиуретана наносится на верхний слой на уровень, превышающий выпирающий ободок. В отверстиях между большими трапециевидными деталями присутствуют пластинки, которые не имеют значения для всей детали, это дизайнерское решение.

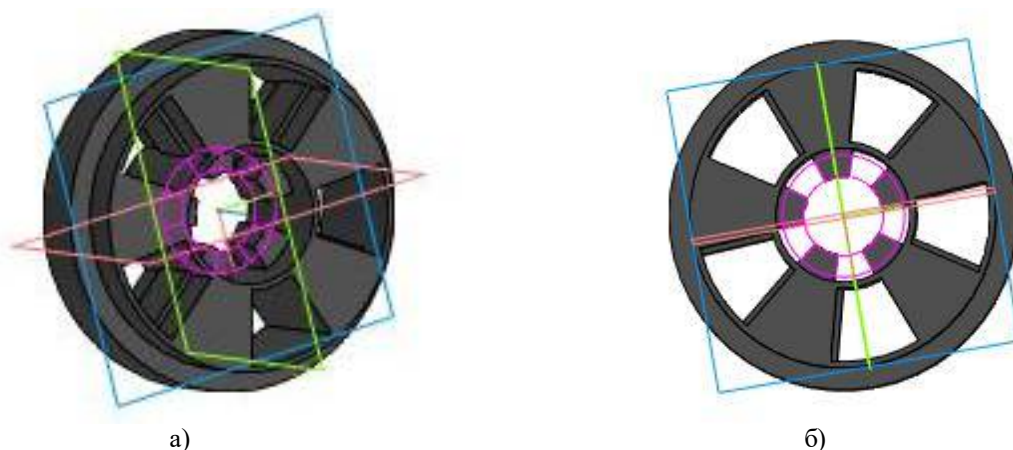


Рис. 1. Вид ступицы: а) – под углом; б) - сверху



Рис. 2. Колесо Oxelo FIT100



Рис. 3. Подшипник ABEC-7

Задача исследования заключается в проведении прочностного анализа смоделированной ступицы.

Прочностной анализ проводился в программе КОМПАС-3D v19, а именно в программе АРМ FEM. Приложение АРМ FEM предназначено для выполнения экспресс-расчетов твердотельных объектов в системе КОМПАС-3D, и визуализации результатов этих расчетов.

Первый этап прочностного анализа – это выбор закрепления. В качестве закрепления были выбраны правое и левое ребро (рис. 4).

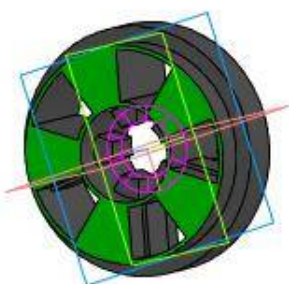


Рис. 4. Закрепление

Второй этап – это выбор распределительной силы. Используя распределительную силу мы равномерно прикладываем силу по всей выбранной поверхности, а именно, к выпирающему ободку. Была приложена сила в 700 Н по оси X и по оси Y (рис. 5).

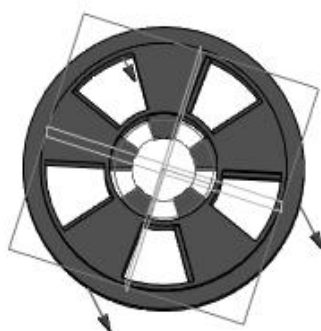


Рис. 5. Распределительная сила

Третий этап это задание свойств материала. Как было сказано выше, был выбран материал полиамид 6 (ПА-6) [2]. Параметры, необходимые для моделирования, указаны в таблице.

Таблица. Параметры полиамида 6 (ПА-6).

Модуль Юнга, МПа	1700
Коэффициент Пуассона	0,5
Плотность, кг/м ³	1140
Коэффициент температурного расширения, 1/С	$8 \cdot 10^{-5}$
Коэффициент теплопроводности, Вт/(С*м*)	0,29
Предел прочности при сжатии, МПа	95
Временное сопротивление, МПа	60
Предел текучести, МПа	65
Предел усталостной прочности (н), МПа	25
Предел усталостной прочности (к), МПа	15

Четвертый этап – задание сетки. Так как прочностной анализ осуществляется методом конечных элементов, было выбрано разбиение 10-угловыми тетраэдрами. Также были выбраны следующие параметры: максимальная сторона элемента 5 мм, минимальная 0,5 мм, максимальный коэффициент сгущения на поверхности 1,2, коэффициент разрежения в объеме 1,5, угловой шаг 18 градусов и размер допуска на слияние 0,5 мм.

Пятый этап – расчет. Результаты статического расчета в виде карты результата эквивалентного напряжения по Мизесу представлены на рисунке 6. Результаты статического расчета в виде карты результата напряжения представлены на рисунке 7.

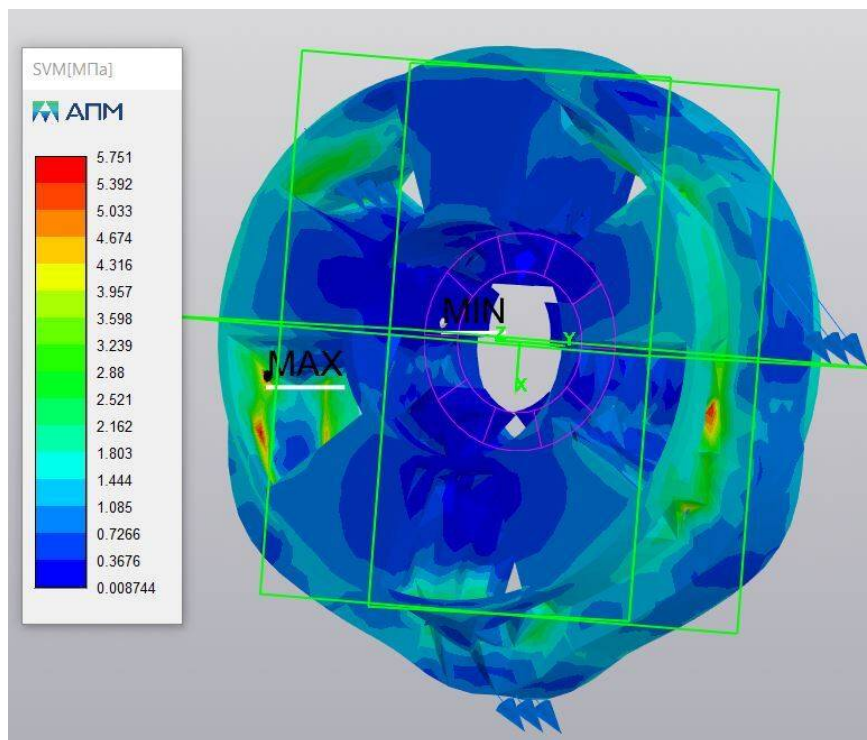


Рис. 6. Карта результата напряжение по Мизесу

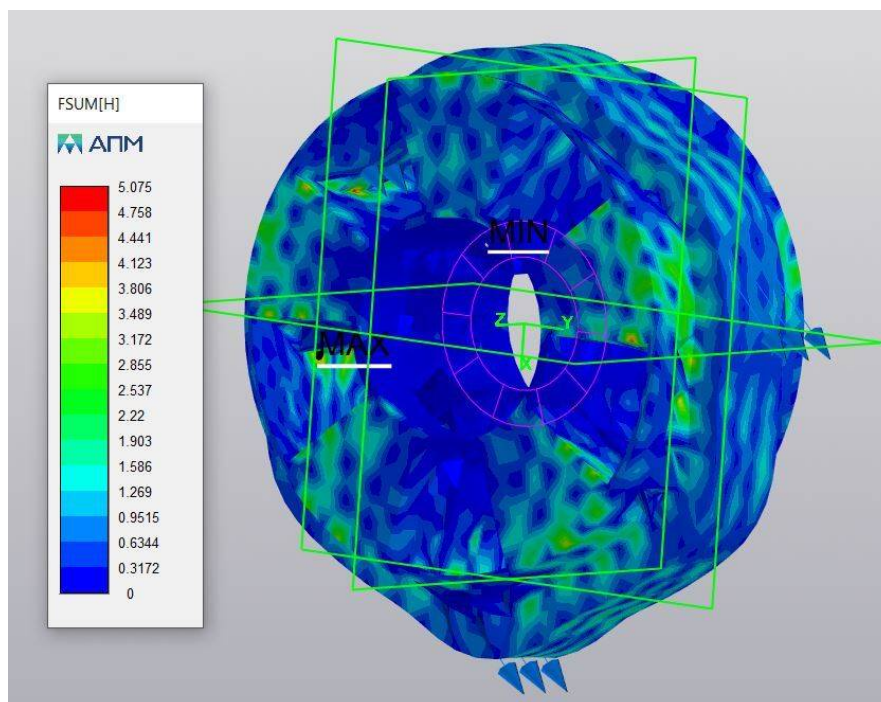


Рис. 7. Карта результата нагрузки

Максимальное значение напряжение по Мизесу находится под левым внешним слоем (слева от выпирающего ободка, ближе к читателю) и равно 5,7 МПа, что на много меньше временного сопротивления. Согласно теории Мизеса пластичный материал начинает повреждаться в местах, где напряжение по Мизесу становится равным предельному напряжению. В большинстве случаев, предел текучести и временное сопротивление используется в качестве предельного напряжения. Следовательно в нашем случае повреждение материала не произошло.

Максимальное значение нагрузки находится прямо под выпирающим ободком и равно 5 Н. Минимальное значение по середине отверстия, куда вставляются подшипники. Данный факт подтверждает правильную форму ступицы, так как нагрузка минимальна в отверстии для подшипников, что обеспечивает их сохранность.

Библиографический список

- 1 Юнусов Р.Ф. Электронные курсы на платформе «Blackboard»//Научно-методический электронный журнал «Концепт». 2016. № 11. С.95-105.URL: <http://e-koncept.ru/2016/16242.html>
2. Крыжановский В.К. Технические свойства полимерных материалов {Текст} :Уч.-справ, пос./ В.К.Крыжановский, В.В.Бурлов, А.Д.Паниматченко, Ю.В.Крыжановская. - СПб.: Профессия, 2007. - 240 с.

УДК 621.98.043; ГРНТИ 55.16.19

САПР В ПРОЕКТИРОВАНИИ ОСНАСТКИ И ПРОЦЕССОВ ЛИСТОВОЙ ШТАМПОВКИ

В.Ю. Бобылев, М.В. Соколов

*Тамбовский государственный технический университет,
Российская Федерация, Тамбов, vlad.bobylev.97@mail.ru, msok68@mail.ru*

Аннотация. В работе рассматриваются преимущества внедрения САПР при технологической подготовки производства штампованных изделий.

Ключевые слова: САПР, CAD системы, CAE системы, листовая штамповка, оснастка

CAD IN TOOLING AND PROCESS DESIGN FOR SHEET METAL FORMING

V.Yu. Bobylev, M.V. Sokolov

*Tambov State Technical University,
Russia, Tambov, vlad.bobylev.97@mail.ru, msok68@mail.ru*

The summary. The paper discusses the advantages of introducing CAD in the technological preparation of production of stamped products.

Keywords: CAD system, CAE system, sheet stamping, tooling

Холодная штамповка – это один из видов обработки металлов давлением, который объединил в себе ряд процессов, осуществляемых холодной пластической деформацией при помощи различных видов оснастки, непосредственно деформирующих металл в нужную форму детали.

Преимущества холодной штамповки с технологической стороны:

- возможность получения детали сложной формы, изготовление которых другими методами весьма затруднительно;
- возможность создания прочных и жестких, но легких по своим массовым характеристикам детали при небольшом расходе материала;
- получение взаимозаменяемых деталей с очень высокой точностью размеров.

Преимущества холодной штамповки с экономической стороны:

- экономичное использование материала,
- небольшой отход;
- низкая себестоимость изготовления изделий;
- высокая производительность.

Однако при всех положительных показателях листовой штамповки, при проектировании оснастки и технологического процесса у инженеров возникают трудности. В основном на стадии технологической подготовки производства (ТПП) новых изделий в машиностроении вопрос проектирования технологической оснастки (штампов, пресс-форм, приспособлений) и её изготовления стоит на первом месте по трудоемкости и срокам реализации.

Разработка нового изделия начинается с идеи, разработки чертежей деталей и сборок. После появления чертежей начинается работа по разработке технологического процесса. На этой стадии происходит анализ технологичности детали, качества поверхностей, заложенных конструктором, рассматриваются методы её изготовления. Для реализации этого необходимо произвести анализ и расчеты материала по физико-механическим свойствам и толщине листа, подходит ли он, или следует внести изменения. Выполнить расчеты, при которых возможно достичь минимальные допуски, необходимое качество поверхности, а также минимальные радиусы для различных формообразующих операций листовой штамповки. Эти действия требуют много времени и труда.

Поэтому более целесообразно использовать системы автоматизированного проектирования. САПР – это один из эффективных способов снижения трудоемкости и сокращения сроков ТПП [1].

В современном производстве САПР системы являются важной частью работы инженера конструктора и технолога. САПР системы применяются от простых программ для разработки 2D чертежей, до программ типа NX Siemens. Все системы САПР разделяются на 3 вида: «легкие», «средние» и «тяжёлые» [2].

«Лёгкие» САПР системы – это системы для создания 2D чертежей на компьютере. Создание чертежей в САД системах намного легче, чем создавать чертежи от руки, так как даже лёгкие системы имеют специальные инструменты для облегчения работы инженера [2].

«Средние» САПР системы являются более сложными. В данных системах можно создавать 3D модели, а также создавать по ним 2D чертежи. Работа с трёхмерными моделями повышает уровень понимания конструкции детали, которую можно посмотреть со всех ракурсов и определить недочеты, если такие имеются [2].

«Тяжёлые» САПР системы состоят из целого пакета программ, направленных на достижение той или иной задачи, поставленной перед конструктором или технологом. Так в одной программе есть возможность создания 3D модели необходимого объекта (детали, инструмента и т.д.), сборки рабочего узла с использованием САД пакетов, провести анализ технологичности, разработать примерный технологический процесс с использованием САЕ пакетов и разработать, если это необходимо, программу для ЧПУ с использованием САМ пакетов [2].

CAD системы

На рынке программного обеспечения представлено множество САД систем, которые поддерживают специальные пакеты моделирования и проектирования для той или иной отрасли производства. САД системы дают возможность перед конструктором спроектировать отдельные детали, сборки и узлы с повышенной точностью, проанализировать спорные моменты создания оснастки для листовой штамповки, также ускорить выпуск конструкторской документации. Все САД системы предназначены для ускорения работы и её облегчения на стадии ТПП. Примерный состав пакета моделирования для проектирования оснастки для листовой штамповки:

- модуль, необходимый для проектирования штампов;
- модуль проектирования процесса листовой штамповки;
- модуль видов листового металла и его сортамент;
- модуль допусков и зазоров на рабочие части штампа;
- модуль стандартных изделий.

Преимущества САД систем:

- параметрическое моделирование (задание основных размеров и связь между ними через формулы);
- дерево построения модели шаг за шагом;
- легкое редактирование модели;
- работа с множеством моделей в одном пространстве (компоновка деталей в узлы и сборки, взаимосвязанных между собой);
- создание 3D моделей деталей.

CAE системы

Основной целью CAE пакетов в отрасли листовой штамповки является разработка технологического процесса, проведение анализа, расчета и оптимизации решений, имитация (симуляция) процесса штамповки.

Примерный состав пакетов для проектирования процесса листовой штамповки:

- модуль физических свойств листового металла;
- анализ прочности готовой детали на основе конечных элементов;
- расчет и анализ состояния металла на каждой стадии штамповки;
- имитация технологического процесса (постпроцессор).

Любая CAE система состоит из препроцессора, решателя и постпроцессора. 3D модель детали является начальными данными для препроцессора, который создаст группу конечных элементов. Решатель же в свою очередь объединит все это в систему уравнений и через постпроцессор визуализирует результат пользователю. Все вычисления предоставляют возможность оценить изменения детали на каждом шагу процесса, возможность дальнейшего проектирования и подтвердить реальность изготовления изделия без производства оснастки и пробного запуска производства.

С помощью CAE систем можно решать и проводить:

- расчет и оценку штампуемости детали;
- прочностной анализ готовой детали;
- смоделировать и визуализировать технологический процесс;
- оптимизировать параметры и работу технологической оснастки.

Преимущества CAE систем:

- графическое отображение технологического процесса на каждой стадии;
- возможность задания каких-либо ограничений;
- проведение анализа состояния напряжения металла и его деформирование;
- помощь при проектировании технологического процесса листовой штамповки.

Вывод

Увеличивающаяся конкуренция среди различных производств, требует повышения качества продукции, сокращения сроков поставки изделия на серийное производство, а также снижение затрат при ТПП. Все виды металлообработки являются сложными процессами, листовая штамповка не является исключением. При постановке на производство нового изделия от конструктора и технолога требуется глубокое понимание сути работы, большого опыта и трудоемкости. В связи с этим в производствах внедряются специализированные САПР. CAD и CAE системы помогают спроектировать и смоделировать всю технологию изготовления, начиная от модели необходимой детали, оснастки и поэтапного технологического процесса с помощью компьютерного моделирования, а не дорогостоящего и трудоемкого физического эксперимента.

Основные цели САПР:

- сокращения трудоемкости проектирования;
- сокращение сроков проектирования;
- сокращение себестоимости;
- автоматизированное оформление КТД;
- замена реальных испытаний оснастки и отработку технологического процесса на компьютерную имитацию;
- повышение качества спроектированных изделий;
- повышение технико-экономических показателей проектирования;
- повышение эффективности труда.

В условиях интенсивного перехода на технологический уклад шестого уровня необходимо постоянно повышать качество готовых изделий, сокращать сроки проектирования и подобрать оптимальные параметры процессов механической обработки заготовок – это важнейшие требования, предъявляемые к разработке технологических процессов. Разработка и внедрение современных систем автоматизированного проектирования (САПР) [3, 4] позволяет решать эти проблемы в большинстве случаев, когда технолог самостоятельно принимает решение о выборе тех или иных режимов обработки, руководствуясь собственным опытом.

Исследования проводятся в соответствии со следующими направлениями научной деятельности, которые развиваются на кафедре “Компьютерно-интегрированные системы в машиностроении” ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет»: прогрессивные технологии и оборудование машиностроительного производства; выбор, создание новых и адаптация интеллектуальных обучающих систем автоматизированного проектирования технологических процессов механической обработки и сборки; разработка методов и способов повышения качества обработки деталей из металлов [5, 6].

Библиографический список

1. ГОСТ 23501.101-87 «Системы автоматизированного проектирования. Основные положения»
2. ПОИНТ – официальный дистрибьютор Autodesk в России. www.pointcad.ru.
3. Алтунин, К. А. Разработка информационных и аналитических моделей выбора параметров процесса резания // / К. А. Алтунин, М. В. Соколов. // Виртуальное моделирование, прототипирование и промышленный дизайн (ВМПД - 2016): матер. III Межд. науч.-практ. конф. Изд-во ФГБОУ ВО «ТГТУ» Тамбов. 2016. Вып. 3. Т.3. С. 192-195.
4. Алтунин, К. А. Структура и адаптация модели представления знаний процесса токарной обработки : монография / К. А. Алтунин, М. В. Соколов, Р. В. Дякин. – Тамбов : Студия печати Павла Золотова, 2017. – 104 с.
5. Алтунин, К. А. Концепция создания системы автоматизированного проектирования процессов резания в технологии машиностроения / К. А. Алтунин, М. В. Соколов, В.Г. Однолько – Монография: Тамбов : Студия печати Павла Золотова, 2018 – 213 с.
6. Altunin, K. A. Development of Information Support for Intelligent Cad of Cutting Processes / K. A. Altunin, M. V. Sokolov // Advanced Materials and Technologies. – 2017. – № 2. – С. 67 – 77.

УДК 004.925.8; ГРНТИ 81.14.10

ОБЗОР ВИДОВ 3D МОДЕЛИРОВАНИЯ

Ю.Р. Шабанова

*Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань, yuli_sh97@mail.ru*

Аннотация. Для того чтобы выбрать вид модели для проектирования, необходимо знать все особенности моделирования, достоинства и недостатки каждого вида, а так же в каких областях они применяются. В данной работе предоставлена необходимая информация.

Ключевые слова: 3D – моделирование, каркасная модель, поверхностная модель, твердотельная модель

OVERVIEW OF 3D MODELING VIEWS

Yu.R. Shabanova

*Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,
Russia, Ryazan, yuli_sh97@mail.ru*

Abstract. In order to choose the type of model to design, you need to know all the features of modeling, advantages and disadvantages of each type, as well as in what areas they are used. This paper provides the necessary information.

Keywords: 3D modeling, wireframe model, surface modeling, solid modeling

В современном мире происходит непрерывное развитие компьютерных технологий, с помощью которых можно уменьшить денежные и временные ресурсы. Одной из таких технологий является получение трехмерного изображения предмета.

Чтобы получить полноценное трехмерное изображение нужно пройти несколько этапов:

- Моделирование
- Текстурирование;
- Освещение;
- Рендеринг (Визуализация);

В этой работе будет рассмотрен самый первый этап получения такого изображения.

При трехмерном моделировании происходит процесс создания модели, которая является объемной. Такая фигура может быть спроектирована по объектам из реального мира (здание, деталь, автомобиль и т.д.) и также, быть совершенно абстрактной.

3D моделирование нашло свое применение во множестве отраслей, но в основном оно используется в промышленности, медицине и развлекательной индустрии. С помощью данной технологии, возможно, разработать так называемый образ или модель предмета.

Для того чтобы правильно распределить временные, денежные и человеческие ресурсы, необходимо знать, какие виды трехмерных моделей выделяют, в каких отраслях и видах деятельности их удобно использовать, какие достоинства и недостатки имеет каждая модель, а также какие программные продукты позволяют реализовать такие типы моделей.

Существует несколько видов 3D моделей:

- каркасная;
- поверхностная;
- твердотельная.

Рассмотрим каждый вид трехмерного моделирования подробнее.

Каркасная 3D модель

Описание: Каркасная модель – это скелетное описание трехмерного объекта. В такой модели нет поверхностей, она состоит из точек, линий и кривых, которые описывают края объекта.

Данная технология является первой в представлениях объемной геометрии, она появилась в конце XX века [1].

Каркасное моделирование, в данный момент времени, используется не часто, так как создание сложных моделей является невозможным, а высокая производительность и большая оперативная память современных компьютеров позволяет получать необходимые расчеты достаточно быстро.

Применение: каркасный вид модели обычно используется там, где необходима высокая производительность, так как данный метод не требует большого количества вычислительных ресурсов. Каркасное представление часто используется не только для моделирования, но и при отображении моделей как один из методов визуализации. Они позволяют оценить эстетичность конструкции [3].

Программы для создания моделей: AutoCAD, POWERSHAPE и BriscCAD.

Недостатки:

- невозможно создать модель, которая будет включать текстуру и поверхность, только «скелет»;
- невозможно отличить видимые грани от тех, которые не должны быть видны;
- невозможно распознать криволинейные грани.

Достоинства:

- возможность внесения быстрой корректировки;
- на хранение такой модели не требуется много оперативной памяти компьютера.

Поверхностная 3D модель

Описание: поверхностная модель – это модель, которая состоит, также как и каркасная, из точек, линий и кривых, но главным отличием является - поверхность, которой обладает модель данного вида.

Для построения поверхностной модели необходимы направляющие линии, которые определяют форму и кривизну детали. Далее программа, в которой выполняется такая модель, вычисляет гладкую поверхность и соединяет с направляющими [2].

Для моделирования данного вида трехмерных моделей, существует несколько типов поверхностей:

1. Базовые геометрические поверхности.
Это 2D модели (плоские фигуры), которые получают с помощью разворачивания в трехмерном пространстве на заданное расстояние, изображенный до этого отрезок прямой.
2. Поверхности сопряжений и пересечений.
Позволяют строить в трехмерном пространстве сложные геометрические поверхности, обеспечивающие точное контактное соединение нескольких поверхностей.
3. Поверхности вращения.
Такая поверхность получается при вращении плоской грани вокруг определенной оси (круговая развертка);
4. Аналитические поверхности.
Данный вид поверхностей описывается только одним математическим уравнением, которое имеет три неизвестных x, y, z (искомые координаты поверхности);
5. Скульптурные поверхности (поверхности свободной формы).
Это такие поверхности, которые строятся с помощью системы математических уравнений.

Применение: Такие модели в основном используются в аэродинамических и термодинамических конструкциях.

Программы для создания моделей: Catia, T-Flex CAD, Solidworks, Inventor.

Недостатки:

- эта техника сложнее каркасной модели;
- занимает большое количество оперативной памяти;
- требуются большие вычислительные ресурсы;
- неоднозначны, при попытке проектирования реальных объектов.

Достоинства:

- возможность проектирования наиболее сложных поверхностей;
- возможность распознавания отверстий на поверхности;
- возможность распознавания и создания криволинейных граней;
- способность распознавания граней (возможность получения тоновых изображений)

Твердотельная 3D модель

Описание: Твердотельное моделирование строится на базовых элементах, которые называются примитивами. Они определяются формой, точкой привязки, размерами и ориентацией. Взаимодействие примитивов осуществляется с помощью таких булевых операций, как: пересечение, объединение и разность.

Путем выполнения всевозможных перемещений плоской (2D) фигуры в пространстве, образуются необходимые для моделирования примитивы. От такого перемещения остается след, который и определяет форму примитива (поворот окружности вокруг оси — сферу, а смещение многоугольника образует призму).

Чтобы получить именно, ту форму примитива, которую нужно использовать, можно выполнить ввод параметров, выбранных из списка определенного типа (в том числе ввод габаритных размеров параллелепипеда или радиуса сферы). Есть еще один способ, который основан на конструктивных особенностях плоской фигуры и предполагает, что необходимо построить плоский контур, который не обязательно замкнут на первом этапе создания трехмерной модели.

Чтобы получить объем, такой контур выдавливается, вращается вокруг оси, вырезается, оформляется в виде оболочки, вытягивается вдоль заданной траектории.

Проектирование в твердотельном моделировании начинается с создания базового тела путем выполнения операции над эскизом (или несколькими эскизами). Объемные элементы образуются путем заданного пользователем перемещения плоской фигуры в пространстве.

Широкое распространение нашли следующие операции:

- вращение эскиза вокруг оси, лежащей в плоскости чертежа;
- перемещение эскиза вдоль направляющей (кинематическая операция);
- построение твердого тела по нескольким сечениям — эскизам;
- выдавливание эскиза в направлении, перпендикулярном плоскости чертежа.

Применение: Такой вид моделей используется в медицине, для визуализации некоторых частей тела человека, а так же для проектирования различных зданий и сооружений.

Программы для создания моделей: Tinkercad, FreeCAD, SolidWorks, Fusion360, КОМПАС-3D и ZBrush.

Недостатки:

- вносить небольшие корректировки сложнее, чем в других методах;
- занимает большое количество оперативной памяти.

Достоинства:

- автоматическое удаление скрытых линий;
- возможность разграничения внутренних и внешних областей объекта;
- возможность применения различных тоновых эффектов;
- автоматическое построение трехмерных разрезов компонентов.

Данная работа может помочь начинающему проектировщику понять особенности и возможности поверхностного, каркасного и твердотельного моделирования, а также найти необходимую программу, которая позволит реализовывать такие модели.

Библиографический список

1. Малюх В.Н. "Введение в современное САПР: курс лекций. – М.: ДМК Пресс, 2010. – 192с.
2. «Системы автоматизированного проектирования» для студентов автомобильного отделения специалитета, бакалавриата очной и заочной форм обучения / Составители: Швейёва Т.В.- Набережные Челны: Изд-во Набережночелнинского института КФУ, 2014. - 88 с.
3. Сазонов А. Трехмерное моделирование в AutoCAD 2011. — Россия : Litres, 2014.

УДК 510.644.4; ГРНТИ 50.03.03

ПРИМЕНЕНИЕ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ В СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ ОРИЕНТАЦИЕЙ МАЛЫХ СПУТНИКОВ

К.В. Анисимов, А.Н. Конюхов

*Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань, chronos@bk.ru*

Аннотация. В статье приведены результаты испытаний системы ориентации наноспутника с использованием нечеткой логики. В качестве нечеткого вывода использован алгоритм Мамдани. Разработана и реализована упрощенная модель наноспутника формата CubeSat 1U с одноосевой системой управления ориентацией, состоящая из программ демпфирования и ориентации. Показано, что предложенная система способна ориентировать наноспутник на заданный угол поворота с допустимой погрешностью.

Ключевые слова: наноспутник, нечеткая логика, система управления ориентацией, база нечетких правил, нечеткий вывод Мамдани, дефазификация.

APPLICATION OF FUZZY LOGIC IN THE ATTITUDE CONTROL SYSTEM OF SMALL SATELLITES

K.V. Anisimov, A.N. Konyukhov

*Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,
Russia, Ryazan, chronos@bk.ru*

Abstract. The article presents the results of experimental testing nanosatellite attitude control system using fuzzy logic. Mamdani algorithm was used as a fuzzy inference. A simplified model of a CubeSat 1U nanosatellite with a single-axis attitude control system consisting of damping and orientation programs has been developed and implemented. It is shown that the proposed system is able to orient the nanosatellite to a given rotation angle with an acceptable error.

Keywords: nanosatellite, fuzzy logic, attitude control system, fuzzy rule base, Mamdani fuzzy inference, defuzzification.

Малые спутники – это тип искусственных спутников Земли, отличающихся небольшой массой и размерами относительно обычных спутников. Более подробно они классифицируются на миниспутники, микроспутники, наноспутники, и т.д. В статье описано применение нечеткой логики для управления пространственной ориентацией наноспутника, однако общие принципы могут быть распространены и на другие виды космических аппаратов (КА).

Наноспутники, имеющие массу от 1 до 10 кг, в последнее время приобрели широкую популярность. Причиной этому стали миниатюризация технологий, относительная легкость и дешевизна создания, а также появление формата CubeSat. Как правило, они собираются из готовых модулей, что упрощает разработку, и часто запускаются в качестве попутной нагрузки вместе с основным КА, что значительно сокращает издержки на запуск. Эти факторы позволяют запускать малые спутники организациями с небольшим (по меркам космических агентств) финансированием.

Наноспутники используются для решения широкого спектра задач, например, для дистанционного зондирования Земли, верификации и демонстрации новых технологий, проведения научных исследований, в образовательных целях. Примерами таких аппаратов могут быть «Спутник-40» (1997), «TubeSat-N» (1998), «ТНС-0 №2» (2018).

Одной из основных систем КА, определяющей его функциональные возможности, является система пространственной ориентации. Спутник состоит из многих подсистем, для нормальной работы которых необходима определённая ориентация: солнечные батареи должны быть направлены к Солнцу, антенны – на землю, камеры – на объект наблюдения. Система ориентации позволяет придать спутнику необходимое положение относительно других объектов (солнца, Земли, звезд).

Для изменения ориентации необходимы специальные устройства. Для наноспутников наиболее популярными являются электромагниты и маховики reaction wheel (RW). Электро-

магниты позволяют создавать контролируемый крутящий момент за счет взаимодействия собственного магнитного поля с магнитным полем Земли [1]. Принцип управления ориентацией с помощью RW основан на законе сохранения момента импульса замкнутой системы. Данное исследование проводилось с системой ориентации на основе маховика RW.

Известно, что момент импульса замкнутой системы n тел $\vec{L}$ относительно любой фиксированной оси не изменяется во времени в отсутствии внешнего момента сил:

$$\vec{L} = \sum_{i=1}^n \vec{L}_i = \overrightarrow{const}.$$

В нашем исследовании использованы следующие допущения.

1. Рассматривается только одна вращательная степень свободы относительно оси симметрии спутника z , при этом закон сохранения момента импульса примет вид

$$\begin{cases} L_z = I_{cz} \omega_{cz} + I_{mz} \omega_{mz} = const, \\ L_x = L_y = 0, \end{cases}$$

где I_{cz}, I_{mz} - моменты инерции спутника и маховика соответственно относительно оси z ;

ω_{cz}, ω_{mz} - угловые скорости спутника и маховика в неподвижной системе координат, связанной с Землей.

2. На спутник действуют внешние (*ext*) дестабилизирующие воздействия, создающие крутящий момент только относительно оси симметрии спутника z , который, вообще говоря, зависит от времени t :

$$\vec{M}_{ext}(t) = (0, 0, M_z(t)).$$

Получаем дифференциальное уравнение, выражающее закон изменения момента импульса системы относительно оси z :

$$\frac{dL_z}{dt} = I_{cz} \frac{d\omega_{cz}}{dt} + I_{mz} \frac{d\omega_{mz}}{dt} = M_z(t).$$

Таким образом, задача стабилизации требует решения дифференциальных уравнений.

В простейшем случае после импульсного воздействия извне корректирующее управление RW определяется из уравнения

$$I_{mz} \frac{d\omega_{mz}}{dt} = -I_{cz} \frac{d\omega_{cz}}{dt},$$

откуда можно найти необходимую относительную угловую скорость маховика ω_{mz}'' :

$$\omega_{mz}'' = \omega_{mz}' + \frac{I_{cz} + I_{mz}}{I_{cz}} (\omega_{cz}' - \omega_{cz}'')$$

при условии, что до воздействия относительная угловая скорость маховика была ω_{mz}' , угловая скорость аппарата ω_{cz}' , а после воздействия ω_{cz}'' .

Итак, для управления ориентацией КА с помощью классических методов необходимо знать моменты инерции спутника и маховика, однако, сами моменты инерции определяются значением массы и ее распределением по объему. В процессе работы аппарат может изменить свой момент инерции, например, вследствие раскрытия солнечных панелей, отделения научного прибора, забора грунта или в результате повреждения конструкции. В таком случае, если это не предусмотрено разработчиком, система ориентации будет работать непра-

вильно. Для решения этой проблемы было предложено провести моделирование системы управления ориентацией на основе нечеткой логики, так как она позволяет создавать системы управления в условиях неполноты информации об управляемом объекте.

Реализована упрощенная модель наноспутника формата CubeSat 1U с одноосевой системой управления ориентацией [2]. Её главный элемент – маховик, который может вращаться по или против часовой стрелки. Скорость вращения задается коэффициентом заполнения ШИМ (широтно-импульсная модуляция) сигнала, принимающего значения от 0 до 100%.

Предлагаемое решение управления ориентацией состоит из двух систем нечеткого вывода типа SISO [3]. Структура такой системы изображена на рисунке 1.

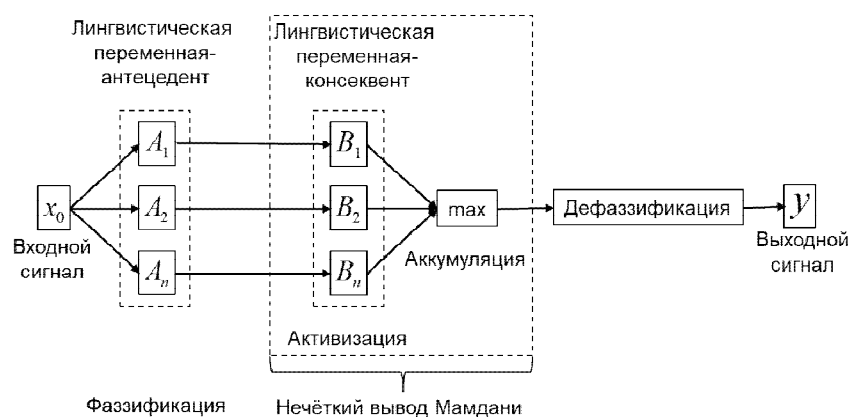


Рис. 1. Структура системы нечеткого вывода типа Мамдани

На вход подается четкий сигнал, который определяет степени принадлежности термов лингвистической переменной (ЛП) - антецедента. Эта процедура называется фаззификацией. Далее с помощью базы правил типа Мамдани, имеющей следующий вид

$$\tilde{\mathcal{R}}_M(x, y) = \bigvee_{i=1}^n \tilde{A}_i(x) \wedge \tilde{B}_i(y),$$

производится нечеткий логический вывод Мамдани:

$$\tilde{B}'(y) = \tilde{A}' \circ \tilde{\mathcal{R}}_M(x, y) = \bigvee_{x \in X} \tilde{A}'(x) \wedge \tilde{\mathcal{R}}_M(x, y),$$

где $\tilde{A}'(x)$ – фактическое значение антецедента.

Вывод заключается в определении степеней принадлежности термов ЛП – консеквента и их объединении. Результатом нечеткого вывода является нечеткое множество – нечеткий консеквент. Заключительный этап – дефаззификация – приведение нечеткого консеквента к четкому числу. Осуществляется, например, по методу центра тяжести:

$$COG(\tilde{B}') = \frac{\int_{supp(\tilde{B}')} y \cdot \mu_{\tilde{B}'}(y) dy}{\int_{supp(\tilde{B}')} \mu_{\tilde{B}'}(y) dy}.$$

Термы ЛП описаны нормальными треугольными функциями принадлежности $tr(a, b, c)$, где (a, c) – носитель треугольного терм-множества, $\{b\}$ – его ядро, а также крайней правой функцией принадлежности $ir(a, b)$, где $(a, +\infty]$ – носитель, $[b, +\infty]$ – ядро [4].

Задача первой системы (демпфирования) – при внешнем воздействии уменьшить угловую скорость аппарата, значение которой считывается с соответствующего датчика. Анте-

цедентом является ЛП «Угловая скорость» ($^{\circ}/c$), имеющая следующие термы: «очень малая скорость» – $tr(0, 0, 150)$, «малая скорость» – $tr(0, 200, 350)$, «средняя скорость» – $tr(150, 350, 450)$, «большая скорость» – $tr(350, 450, 550)$, «очень большая скорость» – $tr(400, 600)$. Консеквент – ЛП «Приращение ШИМ» сигнала (%), которая имеет термы: «очень малое приращение» – $tr(0, 0, 1)$, «небольшое приращение» – $tr(0, 2, 4)$, «среднее приращение» – $tr(1, 5, 8)$, «большое приращение» – $tr(5, 8, 11)$, «очень большое приращение» – $tr(8, 13, 13)$. На рисунке 2 изображены термы ЛП «Угловая скорость» (а) и «Приращение ШИМ» (б).

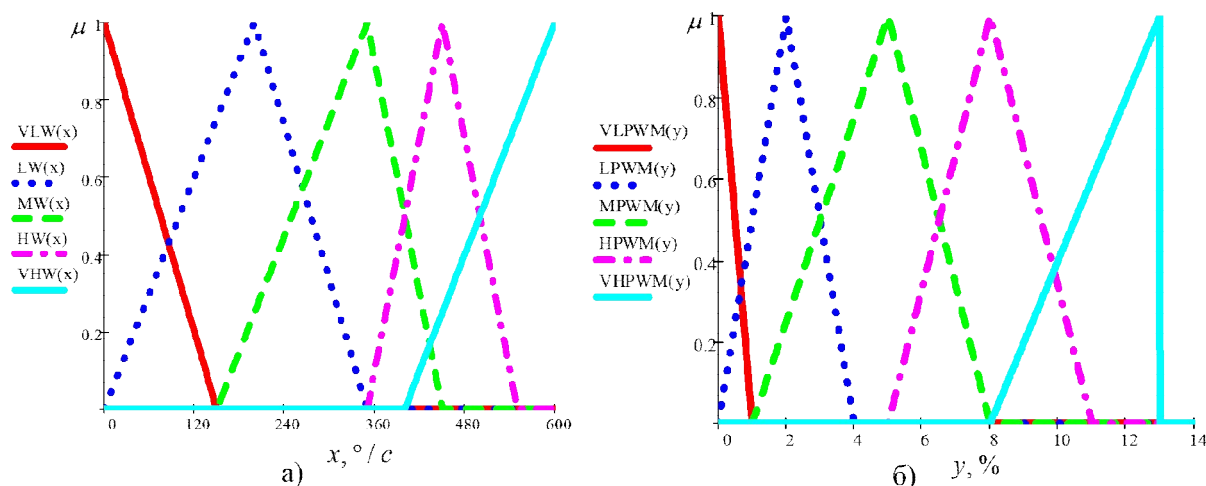


Рис. 2. Термы ЛП «Угловая скорость» (а) и «Приращение ШИМ» (б):

VLW- «очень малая скорость», LW- «малая скорость», MV - «средняя скорость», HW - «большая скорость», VHW - «очень большая скорость»; VLPWM - «очень малое приращение», LPWM - «небольшое приращение», MPWM - «среднее приращение», HPWM - «большое приращение», VHPWM - «очень большое приращение»

В результате нечеткого вывода и дефазификации получаем следующую зависимость приращения ШИМ сигнала от угловой скорости модели наноспутника (рис. 3).

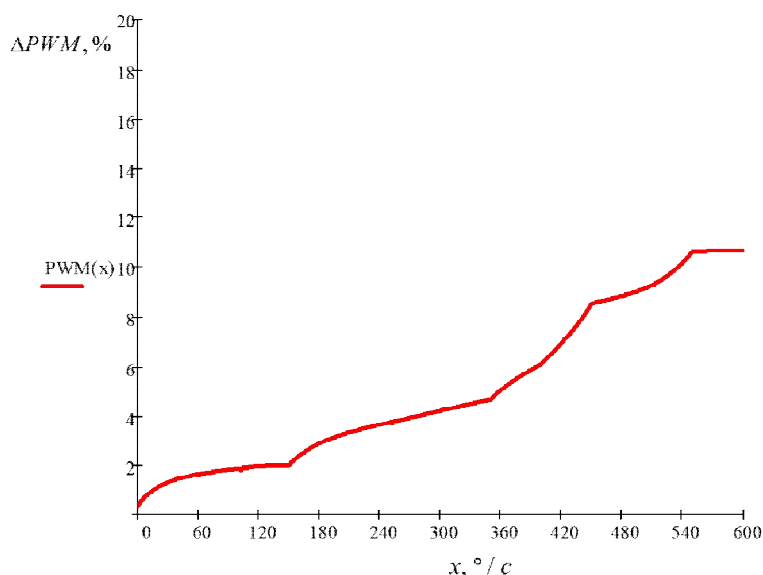


Рис. 3. Зависимость приращения ШИМ сигнала от угловой скорости

Функция второй системы (ориентации) – при малой угловой скорости ориентировать модель наноспутника по заданному углу. Её антецедентом является разность между заданным и текущим углом поворота. Термы ЛП «Разность углов» следующие: «очень малая раз-

ность» – $\text{tr}(0, 0, 40)$, «малая разность» – $\text{tr}(0, 40, 80)$, «средняя разность» – $\text{tr}(40, 80, 120)$, «большая разность» – $\text{tr}(80, 120, 160)$, «очень большая разность» – $\text{tr}(120, 160, 180)$. Консеквентом по-прежнему является ЛП «Приращение ШИМ», но параметры термов изменены: «очень малое приращение» – $\text{tr}(0, 0, 0.2)$, «небольшое приращение» – $\text{tr}(0, 0.2, 0.5)$, «среднее приращение» – $\text{tr}(0.2, 0.5, 1)$, «большое приращение» – $\text{tr}(0.5, 1, 1.5)$, «очень большое приращение» – $\text{tr}(1, 2, 2)$. На рисунке 4 изображены термы ЛП «Разность углов» (а) и «Приращение ШИМ» (б). Зависимость приращения ШИМ сигнала от разности углов модели наноспутника изображена на рисунке 5.

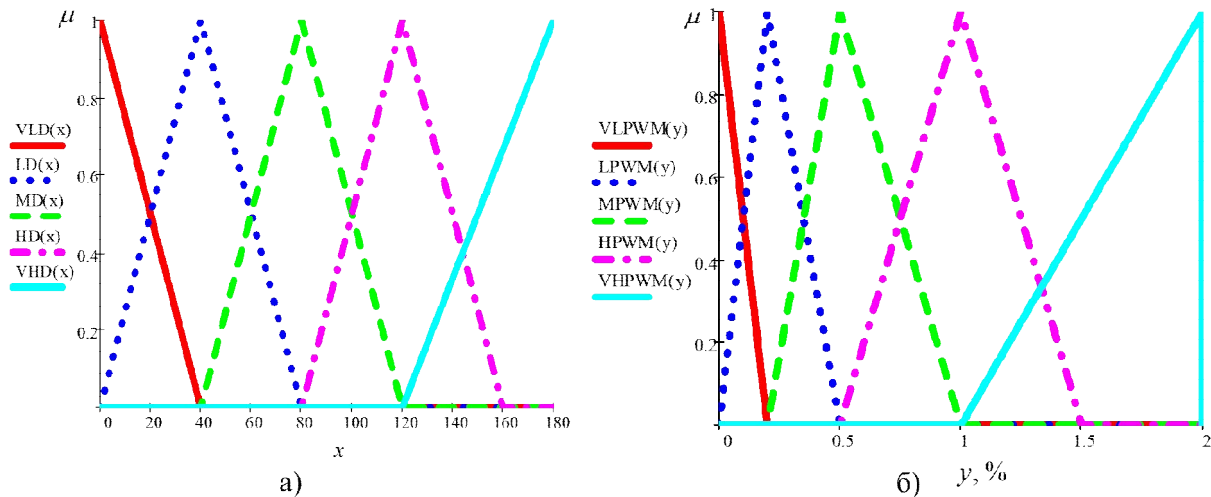


Рис. 4. Термы ЛП «Разность углов» (а) и «Приращение ШИМ» (б): VLD - «очень малая разность», LD - «малая разность», MD - «средняя разность», HD - «большая разность», VDW - «очень большая разность»

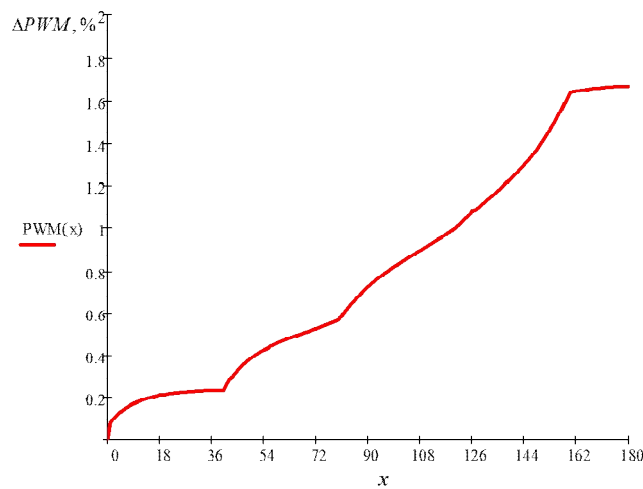


Рис. 5. Зависимость приращения ШИМ сигнала от угловой скорости

Программа, выполняющая функцию системы управления ориентацией, написанная на языке Python3, выполняется на одноплатном компьютере.

Результаты экспериментов

С целью оценить адекватность работы системы управления ориентацией было проведено несколько экспериментов. В первом эксперименте модели наноспутника было придано вращательное движение при отключенной системе ориентации. Зависимость угловой скорости от времени изображена на рисунке 6(а). В течение первых 7 минут после внешнего воздействия колебания угловой скорости достаточно большие, тем не менее, за счет сил трения, создаваемых леской, на которой подвешена модель наноспутника, они являются затухающими с логарифмическим декрементом затухания $\lambda \approx 1$. Спустя примерно 14 минут амплитуда колебаний угловой скорости заметно уменьшилась, однако, как видно из рис. 6(б), на котором изображена зависимость угла поворота от времени, модель продолжает вращаться. Очевидно, что для полной стабилизации необходимо продолжительное время.

Второй эксперимент проводился при активной системе ориентации. Зависимость угловой скорости и угла поворота от времени изображена на рисунке 7.

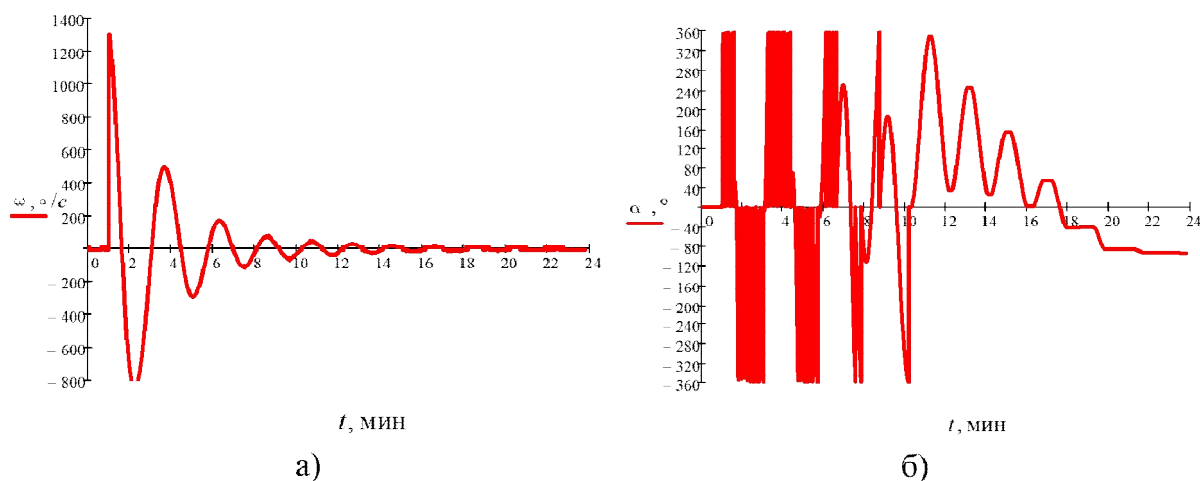


Рис. 6. Результаты первого эксперимента (при неактивной системе ориентации): а) зависимость угловой скорости аппарата от времени; б) зависимость угла поворота от времени

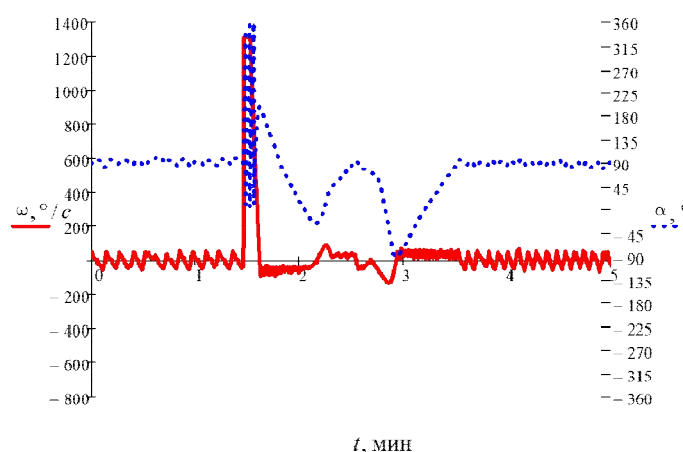


Рис. 7. Результаты второго эксперимента (при активной системе ориентации)

Изначально модель наноспутника стабилизирована и с некоторой погрешностью сохраняет заданный угол поворота $\alpha_0 = 90^\circ$. При внешнем воздействии резко возрастает угловая скорость и модель совершает несколько оборотов вокруг оси. Включается система дем-

пинга, и угловая скорость резко уменьшается. Затем включается система ориентации и доводит спутник до заданного угла. Время, прошедшее от внешнего воздействия до стабилизации, составило 2 минуты. Таким образом, поставленная цель достигнута.

Библиографический список

1. Разработка систем космических аппаратов / Под ред. П. Фортескью, Г. Суайнерда, Д. Старка; Пер. с англ. – М.: Интеллектуальная литература, 2020. – 764 с.
2. Анисимов К.В. Оценка возможности управления стабилизацией наноспутника на основе нечеткой логики // Новые информационные технологии в научных исследованиях: материалы XXV Юбилейной Всероссийской научно-технической конференции студентов, молодых ученых и специалистов; Рязань: ИП Коняхин А.В. (Book Jet), 2020. С. 283.
3. Конюхов А.Н., Дюбуа А.Б., Сафошкин А.С. Основы теории нечетких множеств. Часть 2: учеб. пособие / А.Н.Конюхов, А.Б.Дюбуа, А.С.Сафошкин; Рязан. гос. радиотехн. ун-т. Рязань, 2018. – 108 с.
4. Анисимов К.В., Конюхов А.Н. Формирование навыков нечеткого моделирования в курсе «Основы теории нечетких множеств» // III Международный научно-технический форум СТНО-2020: сборник трудов / под ред. О.В. Миловзорова. Рязань: Рязан. гос. радиотехн. ун-т, 2020. Т. 10. С. 87-94.

УДК 681.3; ГРНТИ 47.14

АЛГОРИТМЫ МЕТОДА ГАРМОНИЧЕСКОГО БАЛАНСА

В.Н. Ланцов, А.П. Папулина

*Владимирский государственный университет
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых,
Российская Федерация, Владимир, lantsov@vlsu.ru*

Аннотация. Представлены алгоритмы реализации решения уравнений метода гармонического баланса, полученных с использованием идей методов понижения порядка моделей. Приведены ранее не опубликованные соотношения и алгоритмы решения уравнений баланса методом Ньютона в программном обеспечении схемотехнического моделирования.

Ключевые слова: гармонический баланс, понижение порядка моделей, метод Ньютона, алгоритмы решения.

ALGORITHMS FOR HARMONIC BALANCE METHOD

V.N. Lantsov, A.P. Papulina

*Vladimir State University named after Alexander and Nikolay Stoletovs,
Russian Federation, Vladimir, lantsov@vlsu.ru*

The summary. Algorithms of realization for solving harmonic balance equations which was obtained by using the ideas of model order reduction methods are presented. Early not published equations and algorithms of solving for harmonic balance equations by using Newton method into software tools for circuits modelling are presented.

Keywords: harmonic balance, model order reduction, Newton method, algorithms of solving.

Методы гармонического баланса (ГБ) широко применяются для моделирования нелинейных радиотехнических схем [1]. Основными проблемами программ на основе методов ГБ – это значительные требования к памяти и огромные вычислительные затраты при моделировании сложных схем, содержащих тысячи электронных компонентов и сотни тысяч уравнений модели [1].

В работе [2] был предложен новый метод и алгоритм решения уравнений ГБ на основе использования идей методов понижения порядка моделей. В работах [3, 4] дальнейшее развитие метода было основано на получении соотношений для реализации метода Ньютона. Метод оказался очень сложным в изложении, очень много математических выражений, требующих более подробных описаний. В данной работе представлены детальные алгоритмы реализации данного метода в программном обеспечении схемотехнического моделирования.

Чтобы не повторять все основные соотношения метода, здесь мы опустим несколько промежуточных выводов, представленных в работах [3, 4].

Традиционное представление исходного уравнения ГБ в частотной области в виде [1]

$$F(V) = I(V) + YV - I_E = 0. \quad (1)$$

Здесь $F(V)$, $I(V)$, V – векторы размерностью $[N \times (2K+1)]$, содержащие спектр в каждом узле схемы. Элемент $I(V)$ описывает нелинейные элементы, вектор неизвестных V – вектор узловых напряжений в узлах схемы, матрица узловых проводимостей Y – является блочной, I_E вектор входных источников, N – число узлов в схеме, K – число учитываемых гармоник.

Идея метода, предложенного в работе [2], заключается в замене вектора переменных (неизвестных) V уравнений ГБ сначала на матрицу размерностью $[N \times (2K+1)]$, а затем на две матрицы сокращенной размерности

$$V = V_H \times V_N, \quad (2)$$

где матрица V_H сокращает число гармоник (*Harmonics*) и имеет размерность $[N \times R]$, V_N – сокращает число узлов схемы (*Nodes*) и имеет размерность $[R \times (2K+1)]$, R – сокращенная размерность уравнений, $R \ll N$, $R \ll (2K+1)$.

Сокращение памяти и вычислительных затрат в новом методе определяется меньшей размерностью новых матриц и тем, что они используются последовательно.

Приведем базовые уравнения гармонического баланса в сокращенном базисе [2-4]

- первое уравнение баланса для нахождения V_H при известном (заданном) значении матрицы V_N

$$F(V_H) = I(V_H V_N) \cdot V_N^T + Y V_H - I_E \cdot V_N^T = 0; \quad (3)$$

- второе уравнение баланса для нахождения V_N при известном значении матрицы V_H

$$F(V_N) = V_H^T \cdot I(V_H V_N) + Y V_N - V_H^T I_E. \quad (4)$$

Размерность первого уравнения $[N \times R]$, и сокращает число учитываемых гармоник в уравнениях баланса. Размерность второго уравнения $[R \times (2K+1)]$, и сокращает число узлов в уравнениях.

Решение уравнений (3) и (4) выполняется итерационным методом Ньютона. Рассмотрим подробные алгоритмы формирования этих уравнений и алгоритмы реализации решений для традиционных программ схемотехнического моделирования.

Алгоритм решения уравнения (3)

Традиционная формула Ньютона для уравнения (3), удобная для программ схемотехнического моделирования [1, 5], имеет вид системы линейных алгебраических уравнений (СЛАУ)

$$J(V_H^i) \cdot \Delta V_H^{i+1} = -F(V_H^i), \quad (5)$$

где $J(V_H^i) = \partial F / \partial V_H |_{V_H^i}$ – Якобиан, $\Delta V_H^{i+1} = V_H^{i+1} - V_H^i$ – приращение.

Рассмотрим особенности вычисления правой части уравнения (5). Как уравнение (3) так и уравнение (4) содержат элемент $I(V_H V_N)$, определяющий зависимость тока от напряжений на нелинейных элементах в частотной области. В стандартных программах моделирования схем все модели нелинейных приборов (элементов) описываются зависимостями во временной области $i_{нэ}(t) = f[v_{нэ}(t)]$. Базовые же уравнения ГБ решаются в частотной области. Поэтому на каждой итерации Ньютона при решении уравнений необходимо делать пре-

образования из частотной области во временную и обратно с помощью быстрого преобразования Фурье (БПФ) [6].

В работе предлагается этот элемент брать полным, т.е. как $I(V)$. В этом случае работает стандартная часть программы ГБ. В этом случае, процедура моделирования нелинейных зависимостей в общей системе уравнений будет представлена следующей записью

$$I(V) = \Gamma \{i(t) = f[v(t)]\} \Gamma^{-1}. \quad (6)$$

Здесь Γ – прямое и Γ^{-1} – обратное преобразование Фурье. Связь между представлением сигнала во временной и частотной областях в виде $V = \Gamma v$ и $v = \Gamma^{-1}V$. Важно отметить, что элемент

$$I_{H\bar{N}} = I(V_H V_N)$$

будет одинаковым для обоих уравнений баланса (3 и 4).

С учетом изложенного, уравнение правой части (5) будет иметь вид

$$F(V_H) = I(V) \cdot V_N^T + Y V_H - I_E \cdot V_N^T.$$

Рассмотрим структуру Якобиана для уравнения (5)

$$J(V_H^i) = \partial F / \partial V_H = \frac{\partial I(V)}{\partial V_H^i} * V_N^T + Y.$$

В традиционных программах схемотехнического моделирования более удобной является форма уравнений метода Ньютона относительно нового значения V_H^{j+1} вместо приращения (5)

$$\begin{aligned} J(V_H^i) \cdot (V_H^{i+1} - V_H^i) &= -F(V_H^i), \\ J(V_H^i) \cdot V_H^{i+1} &= I_E V_N^T - [J - Y] V_H^i - I(V) V_N^T, \end{aligned}$$

В итоге имеем окончательное выражение для расчетов

$$J(V_H^i) \cdot V_H^{i+1} = I_H^i, \quad (7)$$

где уравнение правой части для (7)

$$I_H^i = I_E V_N^T - \partial I / \partial V V_H^i - I(V) V_N^T. \quad (8)$$

$$\text{Здесь} \quad \partial I / \partial V = \Gamma \left\{ \partial i(t) / \partial v(t) \right\} \Gamma^{-1}. \quad (9)$$

Алгоритм 1 (Решение уравнения 7)

- 1: Исх.: V_H^i, V_N^i ;
- 2: $V_N^T = (V_N^i)^T$;
- 3: Обращение к библиотеке стандартных нелинейных приборов.
Расчет $I(V^i)$, $\partial I / \partial V^i$, уравнения (6) и (9);
- 4: Расчет (8);
- 5: Решение СЛАУ (7).

Решение уравнения (4)

С учетом замечаний и предложений предыдущего раздела выражение для решения уравнения (4) методом Ньютона будет выглядеть как

$$J(V_N^i) \cdot V_N^{i+1} = I_N^i, \quad (10)$$

где $J(V_N^i) = \partial F / \partial V_N |_{V_N^i}$ – Якобиан, уравнение правой части

$$I_N^i = V_H^T I_E - \partial I / \partial V V_N^i - V_H^T I(V). \quad (11)$$

Алгоритм 2 (Решение уравнения 10)

- 1: Исх.: V_H^i, V_N^i ;
- 2: $V_H^T := (V_H^i)^T$;
- 3: Обращение к библиотеке стандартных нелинейных приборов.
Расчет $I(V^i)$, $\partial I / \partial V^i$, уравнения (6) и (9);
- 4: Расчет (11);
- 5: Решение СЛАУ (10).

Все разработанные алгоритмы реализованы в виде дополнения общецелевой программы схемотехнического моделирования SMORES [7], реализованной в виде открытого кода в системе Matlab/Simulink.

Алгоритм 3 (Итерации Ньютона)

- 1: Расчет статического режима (DC анализ)
 $V_H^0 = V_H^{DC}; V_N^0 = V_N^{DC};$
- 2: $i = 0$;
- 3: Алгоритм 1;
- 4: Алгоритм 2;
- 5: if $(V_H^{i+1} - V_H^i \leq \varepsilon) \wedge (V_N^{i+1} - V_N^i \leq \varepsilon)$ stop.
- 6: $i = i + 1$;
- 7: go to 3.

Библиографический список

1. Ланцов В.Н. Состояние в области методов моделирования нелинейных ВЧ электронных устройств связи (обзор). Часть 1 и 2. – Проектирование и технология электронных средств, №4/2012, №1/2013.
2. Ланцов В.Н. Новый алгоритм решения уравнений гармонического баланса. – Радиотехнические и телекоммуникационные системы, №4/2019.
3. Ланцов В.Н., Никитов И.А., Папулина А.П. Алгоритм решения уравнений гармонического баланса // Современные технологии в науке и образовании: СТНО-2020. Рязань, РГРТУ, 2020, т. 3.
4. Lantsov V.N. A new algorithm of solving harmonic balance equations. – Journal of IOP Conference Series: Material Science and Engineering, vol. 862(5), May, 2020.
5. Nastov O., Telichevsky R., Kundert K. and White J. Fundamentals of fast simulation algorithms for RF circuits. – Proc. IEEE, v. 95, No. 3, 2007.
6. Gad E., Khazak R., Nakhla M. and Griffith R. A circuit reduction technique for finding the steady-state solution of nonlinear circuits – IEEE Trans. Microwave Theory & Technique, 2000, v. 48, No. 12.
7. Bond D.N. SMORES: A Matlab tool for Simulation and Model Order Reduction of Electrical Systems. – MIT, Preprint, 2010.

УДК 621.396; ГРНТИ 47.14

ТЕНЗОРНЫЕ РАЗЛОЖЕНИЯ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ СХЕМ

К.В. Куликов, Е.П. Гаврилов, И.С. Мельник

Владимирский государственный университет
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых,
Российская Федерация, Владимир, kulikov@vlsu.ru

Аннотация. В статье представлены алгоритмы решения задач схемотехнического моделирования с помощью тензорных разложений с целью сокращения вычислительных затрат при анализе схем большой размерности в САПР электроники. Представлены результаты численных экспериментов и результаты сравнения с традиционными методами.

Ключевые слова: анализы в САПР, электроника, линейные уравнения, тензоры, декомпозиция тензоров.

TENSOR DECOMPOSITIONS FOR SIMULATION OF CIRCUITS

K.V. Kulikov, E.P. Gavrilov, I.S. Melnik

Vladimir State University named after Alexander and Nikolay Stoletovs,
Russian Federation, Vladimir, kulikov@vlsu.ru

The summary. The paper presents algorithms for solving of circuit modeling problems using tensor decompositions in order to reduce computational costs when analyzing large-dimensional circuits in electronic CAD. The results of numerical experiments and comparison with traditional methods are presented.

Keywords: analysis in CAD systems, electronics, linear equations, tensors, tensor decomposition.

Методы декомпозиции тензоров позволяют значительно сократить память для хранения и сократить вычислительные затраты при решении различных высоко размерных задач. В последние годы резко увеличился интерес к тензорам в различных приложениях, в том числе и в САПР [1, 2]. В статье [3] был представлен метод расчета нелинейных схем на основе тензорного анализа, который позволил использовать нелинейности более высокого порядка, и была решена задача моделирования с более высокой точностью при сокращении времени расчета и сокращении необходимой памяти ЭВМ.

Пусть математическая модель схемы (ММС) представляется системой нелинейных дифференциальных уравнений (СНДУ), которую можно записать в виде [4]

$$F(V', V, t) = 0, \quad (1)$$

где V - вектор узловых напряжений, $V' = \partial V / \partial t$. Размерность системы уравнений обозначим как N , и будет соответствовать числу узлов в схеме.

Для решения СНДУ наибольшее применение нашли неявные методы численного интегрирования, где производные (1) заменяются их конечно-разностными аппроксимациями. Например, для простейшей неявной формулы Эйлера первого порядка

$$V' = \partial V / \partial t \approx (V_{n+1} - V_n) / h, \quad \partial v / \partial t \approx (v_{k+1} - v_k) / h, \quad (2)$$

где $V_{n+1} = V(t_{n+1})$, $V_n = V(t_n)$, $h = t_{n+1} - t_n$ - шаг интегрирования.

Замена ММС конечно-разностными формулами позволяет преобразовать СНДУ (1) в систему нелинейных алгебраических уравнений (СНАУ)

$$F(V_{n+1}, V_n, \dots) = 0 \text{ или } F(V) = 0. \quad (3)$$

Решение системы (3) относительно вектора V реализуется с помощью итерационного метода Ньютона

$$J_{V^i} \Delta V^{i+1} = -F^i, \quad (4)$$

где J_{V^i} - Якобиан, $\Delta V^{i+1} = V^{i+1} - V^i$.

Решение уравнения (4) сводится к решению на каждой итерации системы линейных алгебраических уравнений (СЛАУ) вида

$$Ax = b. \quad (5)$$

Таким образом, для решения ММС в виде СНДУ необходимо на каждой временной точке t_n решать СНАУ. В свою очередь, для решения СНАУ на каждой итерации метода Ньютона необходимо решать СЛАУ, где размерность матрицы A равна $[N \times N]$.

Поэтому, вычислительные затраты схемотехнического проектирования во многом определяются затратами на решение системы линейных уравнений. Число уравнений (неизвестных) N может достигать сотен тысяч и более.

Для классических прямых методов решения СЛАУ типа метода Гаусса (LU разложение) затраты пропорциональны N^3 . Для СЛАУ большой размерности в последние годы применяют итерационные методы на основе подпространств Крылова, широко известен алгоритм GMRES [5]. Вычислительные затраты для итерационных методов пропорциональны N^2 . Дальнейшее сокращение вычислительных затрат возможно путем применения тензорных разложений.

Тензор d -го ранга, определяемый как $A \in R^{n_1 \times n_2 \times \dots \times n_d}$ [3]. Рис. 1 иллюстрирует пример тензора третьего ранга для $3 \times 4 \times 2$.

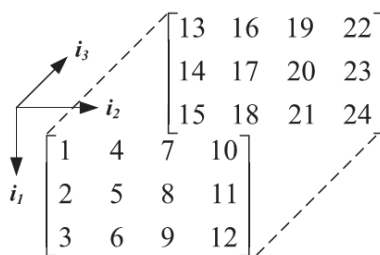


Рис. 1. Пример тензора третьего ранга ($3 \times 4 \times 2$) [3]

Декомпозиция «тензорного поезда» (Tensor Train Decomposition, TT) [6]. В данном методе тензор порядка d аппроксимируется двумя тензорами второго порядка (матрицами) и $(d - 2)$ 3-х мерными тензорами, соединенными последовательно или в виде поезда [6, 7]. В TT-формате тензор A будет определяться следующей формулой

$$A(i_1, \dots, i_d) = G_1(i_1) \dots G_d(i_d), \quad (6)$$

где $G_k(i_k)$ матрицы (ядра TT представления) размерностью $r_{k-1} \times r_k$ для каждого фиксированного значения i_k , причем $1 \leq i_k \leq n_k$. Для того, чтобы получить матрично-векторные произведения в виде скаляра, необходимы следующие граничные условия $r_0 = r_d = 1$. Если $r_k \leq r$, $n_k \leq n$, то память необходимая для хранения тензора в TT-формате будет $\leq dnr^2$. Если r достаточно малое, то необходимая память будет значительно меньше, чем для хранения полной матрицы, n^d .

Задача исследований состояла из следующих шагов:

- исследование и разработка метода преобразования матрицы второго порядка в тензор более высоких порядков;
- исследование алгоритмов и программы разложения «тензорного поезда»;
- исследование методов решения СЛАУ при представлении уравнений в тензорном формате.

Для решения первой задачи мы воспользовались бинарным представлением индексов в разных системах счисления. Так при двоичной системе квадратную матрицу A с количест-

вом элементов N^2 в виде матрицы B с количеством элементов 2^{2D} , где D – это порядок тензора. Для нахождения порядка тензора можно воспользоваться уравнением

$$D = \log_2 N, \quad (7)$$

где N – количество неизвестных в системе линейных уравнений.

Для преобразования исходной матрицы A в тензорный формат необходимо воспользоваться алгоритмом бинарного разложения. Любой элемент исходной матрицы A имеет два индекса i и j . Представление данного элемента в бинарной системе будет иметь вид:

$$A(i; j) = A_{\text{bin}}(i_1, i_2, \dots, i_D; j_1, j_2, \dots, j_D), \quad (8)$$

где $A(i; j)$ – элемент исходной матрицы;

i – индекс строки; j – индекс столбца;

$i_1, i_2, \dots, i_D$ – бинарный индекс строки;

$j_1, j_2, \dots, j_D$ – бинарный индекс столбца.

В новой структуре (тензоре) местоположение любого элемента теперь будет определяться двоичными индексами (числами).

После того, как мы преобразуем (разложим) тензор на более простые элементы, мы получим линейную систему в тензорном формате. При этом в тензорном формате мы должны представить также и правую часть СЛАУ. Одной из первых работ по решению СЛАУ в тензорном формате была работа И.В. Оселедтца [7], где был предложен алгоритм решения линейной системы на основе так называемой DMRG (Density Matrix Renormalization Group) схеме, которая была предложена ранее в твердотельной физике для решения проблем собственных значений.

Проблема решения при представлении элементов СЛАУ в ТТ формате формулируется как задача минимизации функционала

$$\|y - Ax\| \rightarrow \min. \quad (9)$$

К сожалению, надежность метода оказалась не столь высокой и не все задачи решались.

В работе [8] был предложен другой более надежный вычислительный метод AMEn (Alternating Minimal Energy). Метод AMEn реализован в пакете ТТ Toolbox, разработанном Российским коллективом. Руководитель – доктор физико-математических наук Иван Валерьевич Оселедец [9]. Пакет ТТ-Toolbox реализован как Toolbox для MATLAB и включает все базовые операции с тензорами, свободно распространяется, хорошо документирован.

Для демонстрации методов и их проверки был рассмотрен вначале несложный пример СЛАУ вида $Ax = b$, где матрица A размерностью $[16 \times 16]$ представлена на рис. УНКЕ 2,а. Вектор правой части b был задан в виде единичного вектора (т.е. все значения были равны 1). Матрица A и вектор b были преобразованы затем в ТТ-формат. Решение СЛАУ в ТТ-формате было выполнено с помощью процедуры `amen_solve2` пакета ТТ-Toolbox, реализующей метод AMEn. Результат решения x представлен на рисунке 2,б.

$$\begin{bmatrix}
 4 & -1 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 -1 & 4 & -1 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & -1 & 4 & -1 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & -1 & 4 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 -1 & 0 & 0 & 0 & 4 & -1 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & -1 & 0 & 0 & -1 & 4 & -1 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & -1 & 4 & -1 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & -1 & 4 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 4 & -1 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & -1 & 4 & -1 & 0 & 0 & -1 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & -1 & 4 & 0 & 0 & 0 & -1 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 4 & -1 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & -1 & 4 & -1 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & -1 & 4 & -1 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & -1 & 4
 \end{bmatrix}
 \begin{bmatrix}
 0,8333 \\
 1,1667 \\
 1,1667 \\
 0,8333 \\
 1,1667 \\
 1,6667 \\
 1,6667 \\
 1,1667 \\
 1,1667 \\
 1,6667 \\
 1,6667 \\
 1,1667 \\
 0,8333 \\
 1,1667 \\
 1,1667 \\
 0,8333
 \end{bmatrix}$$

Рис. 2. Матрица A системы линейных уравнений (а) и результат решения x (б)

Проверка методики и алгоритмов выполнялась с помощью встроенных в пакет MATLAB стандартных процедур, реализующих метод исключения Гаусса и процедуры GMRES. Результаты полностью совпали.

Для определения эффективности новых алгоритмов при решении систем линейных уравнений более высокой размерности был рассмотрен пример решения СЛАУ с числом уравнений 512. Сравнение также было выполнено с процедурой Гаусса и GMRES. Экспериментальное исследование показало эффективность предложенных алгоритмов и методов по вычислительным затратам.

Библиографический список

1. Рашич А. В. Сети беспроводного доступа. – Санкт-Петербург: Издательство политехнического университета, 2011.
2. Бакулин М. Г., Крейделин В. Б., Шумов А. П. Повышение скорости передачи информации и спектральной эффективности и беспроводных систем связи. – Цифровая обработка сигналов №1/2006.
1. Ланцов В.Н. Применение тензорного исчисления в задачах САПР электроники. – Динамика сложных систем, 2019, № 1.
2. Zhang Z., Batselier K., Liu H., Daniel L., Wong N. Tensor computation: a new framework for high-dimensional problems in EDA. – IEEE Trans. on Computer-Aided Design of Integrated Circuits and Systems, 2017, v. 36, No. 4.
3. Liu H., Daniel L., Wong N. Model reduction and simulation of nonlinear circuits via Tensor decomposition. – IEEE Trans. on Computer-Aided Design of Integrated Circuits and Systems, 2015, v. 34, No. 7.
4. Ланцов В.Н. Состояние в области методов моделирования нелинейных ВЧ электронных устройств связи (обзор). Часть 1. – Проектирование и технология электронных средств, 2012, № 4.
5. Saad Y. Iterative methods for sparse linear systems. – SIAM J. Sci. Comput., 2013.
6. Oseledets I.V. Tensor-train decomposition. – SIAM J. Sci. Comput., No. 5, 2011.
7. Oseledets I. DMRG Approach to Fast Linear Algebra in the TT-Format. – Computational Methods in Applied Mathematics, Vol. 11, 2011, No. 3.
8. Долгов С. В. Алгоритмы и применения тензорных разложений для численного решения многомерных нестационарных задач. – Диссертация на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук, Москва 2014, 161с.
9. TT-Toolbox. [электронный ресурс]. <https://github.com/oseledets/TT-Toolbox>

УДК 004.72; ГРНТИ 50.39.15

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ВРЕМЕННЫХ И РЕСУРСНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРОМЫШЛЕННЫХ СЕТЕЙ С ФУНКЦИОНАЛЬНО ЗАВИСИМЫМИ СЛУЧАЙНЫМИ ОПЕРАЦИЯМИ

Д.А. Перепелкин, А.М. Фам

*Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань, phamanhminh231@gmail.com*

Аннотация. В данной работе предложена методика расчета временных и ресурсных характеристик промышленных сетей с функционально зависимыми случайными операциями. Рассматривается пример проведения функциональных преобразований случайных величин с учетом времени и объема ресурсов.

Ключевые слова: GERT-сети, случайная величина, функциональная зависимость, временная плотность, ресурсная плотность, функциональное преобразование.

METHODOLOGY FOR CALCULATING TIME AND RESOURCE CHARACTERISTICS OF INDUSTRIAL NETWORKS WITH FUNCTIONALLY DEPENDENT RANDOM OPERATIONS

D.A. Perepelkin, A.M. Pham

*Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,
Russia, Ryazan, phamanhminh231@gmail.com*

The summary. This paper proposes a methodology for calculating the time and resource characteristics of industrial networks with functionally dependent random operations. An example of carrying out functional transformations of random variables taking into account the time and amount of resources is considered.

Keywords: GERT-networks, random variable, functional dependence, time density, resource density, functional transformation.

Настоящее время для удовлетворения требований моделирования и анализа более сложных больших систем, необходимо разработать новые методы исследования или улучшить существующие. В [1-3] представлено новое направление развития (добавление третьего параметра - ресурс) в расширении работоспособности метода GERT (*Graphical Evaluation and Review Technique*) [4], часто используемого для изучения стохастических сетей. В традиционном методе GERT особое внимание уделяется вычислению закона распределения случайных величин в одном пространстве, обычно во времени. Добавление параметра ресурса приводит к необходимости дополнительного вычисления закона распределения случайных величин в пространстве ресурсов. Это можно рассматривать как первый шаг к созданию большего количества вычислительных пространств метода GERT.

Функциональная зависимость рассматривается как инструмент, чтобы показать связь между двумя случайными величинами в двух разных пространственных областях. Пусть имеется функциональная зависимость $Y = \phi(X)$, где X – случайная величина времени и Y – случайная величина ресурса. После функционального преобразования, случайная величина в области ресурсов рассчитывается из случайной величины области времени.

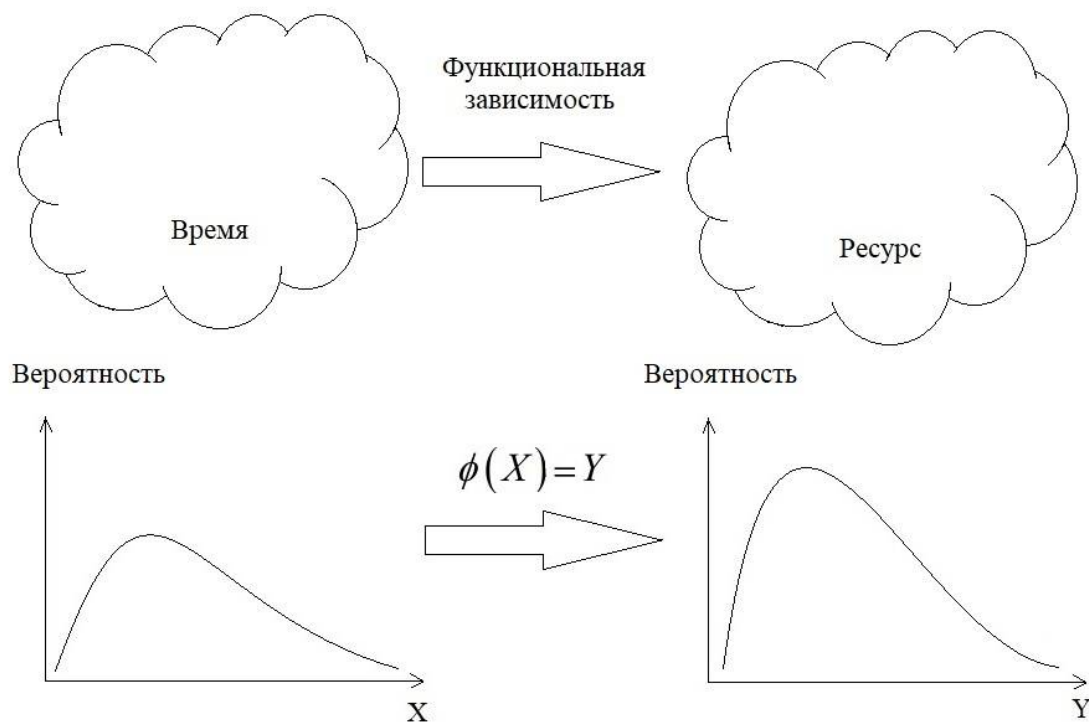


Рис. 1. Иллюстрация к процессу функционального преобразования случайной величины времени в случайную величину ресурсов

Расширение метода позволяет получить выходные случайные величины GERT-сети в виде формулы. Это очень эффективно, если в дальнейшем потребуются выполнить дополнительные вычисления, например, для оптимизации временных и ресурсных параметров. Далее рассмотрим пример расчета объемов ресурсов с функциональными зависимостями в GERT-сети. С помощью программного обеспечения GERT Explorer отображаются графики плотности распределения вероятностей. Кроме того, программа также помогает вычислять некоторые числовые характеристики двух случайных величин.

На рисунке 2 представлена временная GERT-сеть. Параметры дуг этой сети приведены в таблице 1.

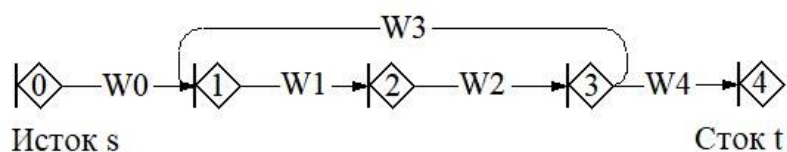


Рис. 2. Временная GERT-сеть

Таблица 1. Параметры временной GERT-сети

Дуга	Распределение	Вероятность	Параметры
W0	Нормальное	1	$m = 10; \sigma = 2$
W1	Экспоненциальное	1	$\lambda = 0,1$
W2	Экспоненциальное	1	$\lambda = 0,1$
W3	Нормальное	0,05	$m = 10; \sigma = 1$
W4	Нормальное	0,95	$m = 0; \sigma = 0$

В таблице 3.2 показаны функциональные зависимости между случайными величинами GERT-сети.

Таблица 2. Функциональные зависимости между случайными величинами

Дуга	Распределение	Функциональные соотношения
W0	Нормальное	$Y = 0,5X$
W1	Экспоненциальное	$Y = 0,5X$
W2	Экспоненциальное	$Y = 0,5X$
W3	Нормальное	$Y = 0,5X$
W4	Нормальное	–

Доказано, что после линейных функциональных преобразований экспоненциального и нормального распределений также получаются экспоненциальные и нормальные распределения [5-6]. Пусть линейная функциональная зависимость времени, связанного с ресурсом, отражается по формуле $Y = kX, k > 0$. То полученное экспоненциальное распределение после выполнения преобразования равно

$$\phi_i(x) = \frac{\lambda_i}{k} \exp^{-\frac{\lambda_i}{k}x}, i = \overline{1, n},$$

где λ_i – интенсивность или обратный коэффициент масштаба;

нормальное распределение равно $\phi_i(x) = \frac{1}{k\sqrt{2\pi}\sigma_i} \exp^{-\frac{(km_i-x)^2}{2k^2\sigma_i^2}}, i = \overline{1, n}$, где m_i – математическое ожидание и σ_i – среднеквадратическое отклонение.

В таблице 3 приведены параметры дуг GERT-сети ресурсов.

Таблица 3. Параметры GERT-сети ресурсов

Дуга	Распределение	Вероятность	Параметры
W0	Нормальное	1	$m = 5; \sigma = 0,5$
W1	Экспоненциальное	1	$\lambda = 0,2$
W2	Экспоненциальное	1	$\lambda = 0,2$
W3	Нормальное	0,05	$m = 5; \sigma = 0,25$
W4	Нормальное	0,95	–

На рисунке 3 отражены временная (кривая 1) и ресурсная (кривая 2) плотности распределения вероятностей выходной величины GERT-сетей.

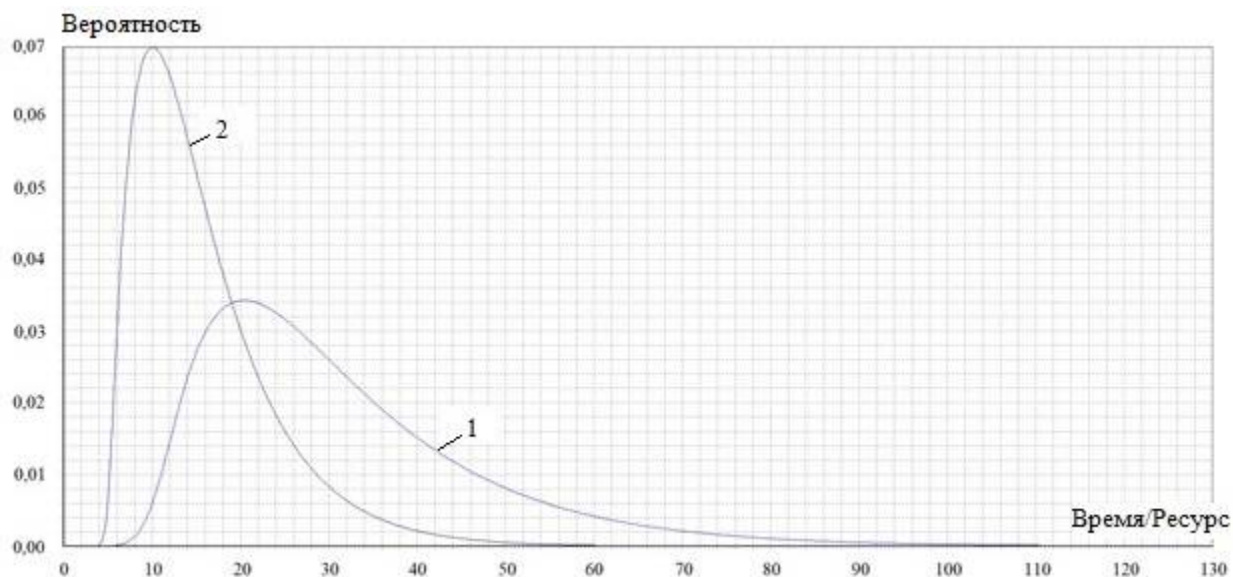


Рис. 3. Плотность временная (кривая 1) и плотность ресурсов (кривая 2) на одной координатной плоскости

Математическое ожидание временной плотности распределения вероятностей выходной величины временной GERT-сети $m = 31,5$; среднеквадратическое отклонение $\sigma = 16,04$. Правосторонний интервал «трех сигм» $m + 3\sigma = 79,62$. Для плотности распределения вероятностей выходной величины GERT-сети ресурсов получаем соответственно $m = 15,79$; $\sigma = 8$; $m + 3\sigma = 40,04$.

В вышеуказанном примере рассмотрена методика определения временных и ресурсных плотностей распределения при наличии функционально зависимых случайных величин. На основании полученных графиков плотности распределения и числовых характеристик величин возможно принимать решения о перераспределении или корректировке ресурсов в ходе выполнения операции согласно заданному требованию времени.

Библиографический список

1. Фам А. М. Применение GERT-сетей для оценки функциональных зависимостей по ресурсам / А. М. Фам, А. П. Шибанов // Новые информационные технологии в научных исследованиях: материалы XXIV юбилейной Всероссийской науч.-техн. конф. студентов, молодых ученых и специалистов / Рязан. гос. радиотехн. ун-т. – Рязань, 2019. – С. 72 -73.
2. Фам А. М. Расчет объема ресурсов в GERT-сетях / А. М. Фам, А. Н. Сапрыкин // Новые информационные технологии в научных исследованиях: материалы XXV юбилейной Всероссийской науч.-техн. конф. студентов, молодых ученых и специалистов / Рязан. гос. радиотехн. ун-т. – Рязань, 2020. – С. 103-104.
3. Фам А. М. Задача планирования объема разнородных ресурсов в промышленных GERT-сетях с функционально зависимыми случайными операциями / Д. А. Перепелкин, А. М. Фам, А. З. Нгуен // Системы управления и информационные технологии. – 2020. № 4(82). – С. 35-39.
4. Pritsker A.A.B. GERT: Graphical evaluation and review technique. Memorandum RM-4973-NASA. 1966. 138 p.
5. А. П. Шибанов, А. З. Нгуен. Использование стохастических сетей при планировании сборочных операций с функциями от случайных величин // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. 2019. № 69. С. 86-92.
6. Вентцель Е.С., Овчаров Л.А. Теория вероятностей и ее инженерные приложения. – М.: Высшая школа, 2000. – 480 с.

УДК 004.72; ГРНТИ 50.39.15

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ФУНКЦИЙ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЗАВИСИМЫХ СЛУЧАЙНЫХ ВЕЛИЧИН В ПРОМЫШЛЕННЫХ СЕТЯХ

Д.А. Перепелкин, А.З. Нгуен

*Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань, nguyendunganh1306@yandex.ru*

Аннотация. В работе рассматривается методика определения функций распределения для зависимых случайных величин, чтобы функция распределения для операции в целом соответствовала определенным требованиям.

Ключевые слова: дискретная случайная величина, непрерывная случайная величина, обратная функция, функция распределения, смешанное распределение.

PROCEDURE FOR DETERMINING THE DISTRIBUTION FUNCTIONS OF DEPENDENT RANDOM VALUES IN INDUSTRIAL NETWORKS

D.A. Perepelkin, A.D. Nguyen

*Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,
Russia, Ryazan, nguyendunganh1306@yandex.ru*

Abstract. The paper considers a technique for determining distribution functions for dependent random variables, so that the distribution function for the operation as a whole would meet certain requirements.

Keywords: discrete random variable, continuous random variable, inverse function, distribution function, mixed distribution.

Часто на практике встречаются задачи, когда реализация исхода случайной величины вызывает действие другой величины. Пусть, например, одна случайная величина определяет продолжительность некоторой операции [1]. Этой длительности соответствует некоторая функция времени контроля качества выполнения этой операции. В работе [1..5] встречаются преобразования случайных величин типа $Y = kX$, $Y = \sqrt{X}$, $Y = X^n$. Это возможно, если эта зависимость заранее известна. При проектировании часто возникает необходимость решить обратную задачу: какую функцию распределения для зависимых случайных величин надо выбрать, чтобы функция распределения для операции, части еще не созданной GERT-сети, или всей GERT-сети в целом соответствовала определенным требованиям.

Здесь рассматриваются два случая:

– не меняется выполняемая операция, часть еще не созданной GERT-сети, или вся GERT-сеть в целом. На это затрачивается определенное время, и тогда должно выполняться условие $G(y) > F(x)$, где $G(y)$ – функция распределения будущей операции, части еще не созданной GERT-сети, или вся GERT-сети в целом.

– нужно изменить функцию распределения уже существующей операции, часть еще не созданной GERT-сети, или всей GERT-сети в целом. Тогда на функцию распределения $G(y)$ не накладывается ограничений, кроме того, что должно выполняться условие интегрирования формулы обращения.

Это условие реализуется путем введения в дискретное распределение фиктивной случайной величины. Наиболее удобно ввести для этой цели операцию, характеризующуюся нормальным распределением с нулевым математическим ожиданием и малой дисперсией. Для корректности расчетов в конечном итоге дополнительная величина должна быть исключена из GERT-сети.

Решение задачи

Здесь мы рассмотрим задачу о получении случайной величины Y с заданным дискретным распределением путем функционального преобразования другой случайной величины. Задача формулируется так: в нашем распоряжении имеется случайная величина X с заданной плотностью $f(x)$. Требуется определить, какому функциональному преобразованию $Y = \varphi(x)$ ее надо подвергнуть, чтобы случайная величина Y имела заданное распределение?

Для решения этой задачи используем метод обратной функции. Исходной случайной величиной X является непрерывная случайная величина X , распределенная с постоянной плотностью на интервале $(0,1)$:

$$f(x) = \begin{cases} 1 & \text{при } x \in (0,1), \\ 0 & \text{при } x \notin (0,1). \end{cases}$$

Необходимо, чтобы функциональным преобразованием $Y = \varphi(x)$ из нее получилась случайная величина с заданной функцией распределения $G(y)$. Покажем, что для этого надо случайную величину X подвергнуть функциональному преобразованию $Y = G^{-1}(X)$, где $G^{-1}(X)$ – функция, обратная требуемой функции распределения $G(y)$.

Изобразим функцию распределения $G(y)$ на графике (рисунок 1).

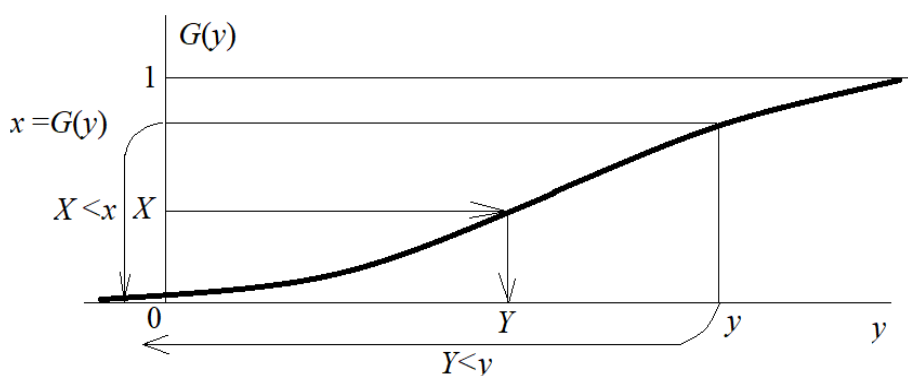


Рис. 1. Функция распределения $G(y)$

Если функция $G(y)$ непрерывна, строго монотонна и дифференцируема в интервале (a, b) всех возможных значений случайных величины y , то и обратная функция $G^{-1}(X)$ так же непрерывна. В этом случае функция распределения случайной величины Y

$$P\{Y < y\} = P\{X < G(y)\} = G(y).$$

Для получения дискретной случайной величины необходимо проделать следующие действия:

1. Величина $P\{Y = y_i\} = p_i$ ($i = 2, \dots, n$) равна величине скачка функции распределения $G(y)$ в точке y_i . Таким образом, участок от 0 до 1 можно разбить на n непересекающихся отрезков:

$$\Delta_1(0; p_1]; \Delta_2 = (p_1 + p_2]; \\ \Delta_3 = (p_1 + p_2, p_1 + p_2 + p_3]; \dots,$$

$$\Delta_i = (p_1 + p_2 + \dots + p_{i-1}, p_1 + p_2 + p_i], \dots,$$

$$\Delta_n = \left(\sum_{i=1}^{n-1} p_i; 1 \right];$$

при этом длина i -го отрезка Δ_i равна p_i ($i = 1, 2, \dots, n$).

2. Разыграть на компьютере значение x случайной величины X , распределенной равномерно на интервале $(0, 1)$.

3. Тогда получаем ряд распределения значений y случайной величины Y :

y_1	y_2	$\dots$	y_n
p_1	p_2	$\dots$	p_n

4. Разбить интервал $(0, 1)$ на непересекающиеся участки Δ_i ($i = 1, 2, \dots, n$) длиной $p_1, p_2, \dots, p_n$.

5. Определить, какому из интервалов Δ_i принадлежит значение случайной величины X . Если $x \in \Delta_i$, то случайная величина $Y = y_i$. Действительно

$$P\{X \in \Delta_i\} = \int_{p_1 + p_2 + \dots + p_{i-1}}^{p_1 + p_2 + \dots + p_i} f(x) dx = \sum_{k=1}^i p_k - \sum_{k=1}^{i-1} p_k = p_i = P\{Y = y_i\} \quad (i = 1, 2, \dots, n).$$

В GERT-сети смешанные распределения появляются тогда, когда в ней имеются участки параллельных путей, один из которых описывается чисто дискретными случайными величинами, а другой – имеет непрерывную выходную случайную величину. Другими словами, GERT-сеть имеет структуру, изображенную на рисунке 2.

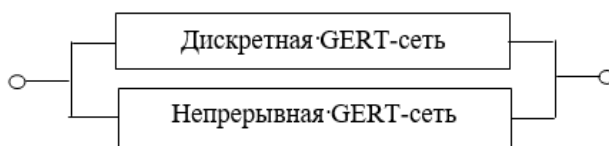


Рис. 2. Получение смешанной величины

Если случайная величина Y смешанная, то ее функция распределения $G(y)$ имеет скачки, горизонтальные участки и участки монотонного возрастания.

Пример реализации функции распределения смешанной случайной величины приведен на рисунке 3.

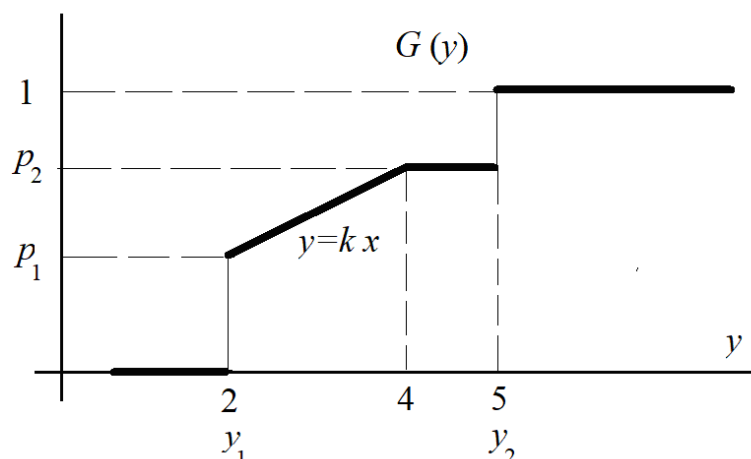


Рис. 3. Смешанное распределение

Имеем скачки p_1 и p_2 от дискретного распределения в точках 2 и 5. Функция распределения на участке $(2, 4]$ в соответствии с линейной зависимостью $y = kx$, что соответствует равномерному распределению с обратной функцией $g(y) = y/k$.

В случае смешанной случайной величины Y поступаем следующим образом:

1. Разбиваем интервал $(0, 1)$ на $k + l$ непересекающихся интервалов, где k – число дискретных значений случайной величины Y , l – число участков, где функция $G(y)$ непрерывна и строго монотонна.
2. «Разыгрываем» на компьютере значение x случайной величины X , равномерно распределенной на участке $(0, 1)$.
3. Если значение x случайной величины X попадает на интервал Δ_k ($x \in \Delta_i$), отвечающий скачку функции распределения в точке y_i , то полагаем $Y = y_i$ ($i = 1, 2, \dots, k$).
4. Если значение x случайной величины X попадает на интервал Δ_l на котором $G(y)$ непрерывно возрастает, то полагаем

$$y = G_j^{-1}(x) (j = 1, 2, \dots, l),$$

где $G_j^{-1}(x)$ – функция, обратная функции $G(y)$ на j -м участке непрерывного возрастания.

Заключение

В данной статье предложена методика вычисления обратной функции для определения функций зависимых случайных величин, чтобы функция распределения для операции в целом соответствовала определенным требованиям. Если в GERT-сети имеются участки параллельных путей, один из которых описывается чисто дискретными случайными величинами, а другой – имеет непрерывную выходную случайную величину, то мы получаем смешанные распределения.

Библиографический список

1. А.П. Шибанов, А.З. Нгуен, А.М. Фам. Аналитические модели телекоммуникационных каналов с контрольными операциями / Радиотехника. – 2019. – № 11. – С. 35-40.
2. А.П. Шибанов, А.З. Нгуен, А.М. Фам. Использование стохастических сетей при планировании прибыли с учетом возможных потерь / Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. – 2020. – № 71. – С. 60-70.
3. А.П. Шибанов, А.З. Нгуен, А.М. Фам. Использование стохастических сетей при планировании прибыли с учетом возможных потерь / Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. – 2020. – № 71. – С. 60-70.
4. А.З. Нгуен, А.П. Шибанов. Применение GERT-сетей при использовании временных функциональных зависимостей / Новые информационные технологии в научных исследованиях: материалы XXIV юбилейной Всероссийской науч.-техн. конф. студентов, молодых ученых и специалистов / Рязан. гос. радиотехн. ун-т. – Рязань, 2019. – С. 74 -75.
5. Д. А. Перепелкин, А. М. Фам, А. З. Нгуен. Задача планирования объема разнородных ресурсов в промышленных GERT-сетях с функционально зависимыми случайными операциями. Системы управления и информационные технологии. – 2020. № 4(82). – С. 35-39.

УДК 004.42; ГРНТИ 20.53.19

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ МНОГОПОТОЧНЫХ ВЕРСИЙ ГЕНЕТИЧЕСКОГО АЛГОРИТМА

С.В. Скворцов, Т.А. Фетисова

*Рязанский государственный радиотехнический университет,
Россия, Рязань, s.v.skvor@gmail.com, pyurova_ta@mail.ru*

Аннотация. В данной работе представлены результаты экспериментального исследования многопоточных версий генетического алгоритма, который реализован в виде программного модуля с изменяемой конфигурацией. Проведен факторный анализ с определением влияния сочетания факторов. Построена регрессионная модель, позволяющая аналитически оценить время выполнения многопоточной части алгоритма. Сделаны выводы о целесообразности разработанных многопоточных версий генетического алгоритма.

Ключевые слова: генетический алгоритм, многопоточность, селекция, кроссинговер, эксперимент, факторный анализ, регрессионная модель.

EXPERIMENTAL RESULTS ON MULTITHREADED VERSIONS OF THE GENETIC ALGORITHM

S.V. Skvortsov, T.A. Fetisova

*Ryazan State Radio Engineering University,
Russia, Ryazan, s.v.skvor@gmail.com, pyurova_ta@mail.ru*

Abstract. In this paper, the results of an experimental study of multithreaded versions of the genetic algorithm are presented, which is implemented as a software module with a variable configuration. A factor analysis was performed to determine the influence of a combination of factors. A regression model is constructed that allows to analytically estimate the execution time of the multithreaded part of the algorithm. Conclusions are drawn about the expediency of the developed multithreaded versions of the genetic algorithm.

Keywords: genetic algorithm, multithreading, selection, crossover, experiment, factor analysis, regression model.

1. Введение

На сегодняшний день параллельные алгоритмы [1] пользуются большой популярностью, поскольку они позволяют существенно повысить производительность программных продуктов. Многие исследования генетических алгоритмов (ГА) в этом направлении связаны с организацией обмена особями между популяциями и способом распараллеливания [2, 3] (модель «хозяин-рабочий» или островная модель), однако практически отсутствуют материалы по реализации собственно ГА, а именно по типу селекции или кроссинговера, блоч-

ному или поточному распараллеливанию [4]. В данной работе не только рассматриваются указанные аспекты, но также описываются экспериментальные исследования двухуровневого распараллеливания [5], где на первом блочном уровне организуется развитие подпопуляции (селекция, кроссинговер, мутация, миграция), а на втором поточном уровне – вычисление значений функции приспособленности особей.

2. Экспериментальное исследование алгоритмов и программного модуля

Для проведения экспериментального исследования с помощью факторного анализа необходимы следующие исходные данные:

- Количество особей 2000-8000;
- Количество блоков: 128-512;
- Количество потоков: 128-512;
- Сложность функции: от алгебраической функции третьей степени (простая) до трансцендентной функции с наличием нескольких тригонометрических слагаемых (сложная);
- Селекция: колесо рулетки, турнирная селекция, ранговая селекция;
- Кроссинговер: одноточечный, двухточечный, однородный.

Для проведения эксперимента по оценке эффективности параллельных вариантов ГА на платформе CUDA разработано четыре версии программы поиска минимума целевой функции в заданном диапазоне: последовательная реализация на центральном процессоре (ЦП); одноуровневая блочная; одноуровневая поточная [8, 9] и двухуровневая блочно-поточная реализация на платформе CUDA. Эксперимент проводился с использованием следующих технических средств: видеоплата NVIDIA GeForce GTX 1070, процессор Intel Core i5 6500.

Задачи эксперимента:

- сравнение скорости работы параллельных и последовательных версий программ;
- анализ полученных результатов в целом для определения рациональных режимов практического применения разработанных многопоточных приложений.

В процессе эксперимента выполнялись измерения времени работы указанных версий программ, реализующих ГА с использованием перечисленных выше вариантов селекции и кроссинговера, а также случайной мутации. Исходные данные, представленные в виде одномерных массивов целых чисел, формировались случайным образом. Результаты эксперимента представлены в таблице 1.

Таблица 1. Экспериментальные результаты

Тип селекции	Количество особей			
	2000		8000	
Сложность функции	Простая	Сложная	Простая	Сложная
Последовательная версия				
Селекция (одноточечный кроссинговер)				
Колесо рулетки, сек	156	349	287	642
Турнирная селекция, сек	134	315	248	626
Ранговая селекция, сек	144	332	259	631
Кроссинговер (турнирная селекция)				
Одноточечный, сек	137	314	246	630
Двухточечный, сек	149	317	252	657
Однородный, сек	154	321	254	661

Продолжение таблицы 1

Селекция и кроссингвер												
Колесо рулетки + одното- точный, сек	158	348	285	643								
Турнирная селекция + од- ноточечный, сек	135	313	248	629								
Ранговая селекция + одно- точный, сек	146	330	262	635								
Колесо рулетки + двухто- точный, сек	167	359	300	658								
Турнирная селекция + двухточечный, сек	147	320	256	655								
Ранговая селекция + двух- точный, сек	152	345	283	646								
Колесо рулетки + одно- родный, сек	181	368	315	667								
Турнирная селекция + од- нородный, сек	153	319	258	663								
Ранговая селекция + одно- родный, сек	174	350	299	655								
Блочный параллелизм												
Селекция (одноточечный кроссингвер)												
Количество блоков	128	256	512	128	256	512	128	256	512	128	256	512
Колесо рулетки, сек	142	139	128	317	301	284	125	121	114	379	366	353
Турнирная селекция, сек	121	110	104	286	266	250	107	102	99	363	349	329
Ранговая селекция, сек	130	118	113	302	292	273	113	105	100	374	358	344
Кроссингвер (турнирная селекция)												
Одноточечный, сек	120	109	103	278	267	249	105	101	94	358	350	323
Двухточечный, сек	125	115	107	290	271	253	111	104	103	368	353	337
Однородный, сек	130	121	114	295	274	261	115	110	109	377	365	342
Селекция и кроссингвер												
Колесо рулетки + одното- точный, сек	143	137	130	317	302	282	126	120	117	382	364	350
Турнирная селекция + од- ноточечный, сек	121	109	105	287	262	253	106	100	97	368	354	328
Ранговая селекция + одно- точный, сек	130	119	117	301	290	277	112	104	99	375	359	341
Колесо рулетки + двухто- точный, сек	150	142	139	329	308	297	131	128	121	396	377	364
Турнирная селекция + двухточечный, сек	125	114	109	291	270	259	107	106	100	368	354	333
Ранговая селекция + двух- точный, сек	138	127	122	315	297	286	116	114	107	388	369	352
Колесо рулетки + одно- родный, сек	157	151	146	338	312	299	140	135	130	402	381	372
Турнирная селекция + од- нородный, сек	131	120	112	298	276	258	114	114	108	377	369	340
Ранговая селекция + одно- родный, сек	145	137	130	318	305	294	120	117	112	395	380	367

Продолжение таблицы 1

Поточный параллелизм												
Селекция (одноточечный кроссингвер)												
Количество потоков	128	256	512	128	256	512	128	256	512	128	256	512
Колесо рулетки, сек	148	137	125	318	298	281	129	120	110	377	367	348
Турнирная селекция, сек	119	113	101	285	259	243	111	108	94	364	350	321
Ранговая селекция, сек	135	117	110	306	287	266	109	99	96	379	352	336
Кроссингвер (турнирная селекция)												
Одноточечный, сек	121	111	107	275	268	241	105	100	98	359	352	321
Двухточечный, сек	124	113	110	297	270	258	115	101	99	368	353	334
Однородный, сек	133	120	116	294	275	261	124	118	110	379	360	348
Селекция и кроссингвер												
Колесо рулетки + одноточечный, сек	144	136	133	318	302	290	119	125	115	384	367	348
Турнирная селекция + одноточечный, сек	120	111	109	290	254	252	108	104	102	370	355	328
Ранговая селекция + одноточечный, сек	132	127	117	302	291	274	109	106	100	374	360	343
Колесо рулетки + двухточечный, сек	158	140	135	330	310	299	131	124	118	395	374	368
Турнирная селекция + двухточечный, сек	124	114	110	292	267	260	108	104	102	370	351	338
Ранговая селекция + двухточечный, сек	141	128	120	314	299	283	117	114	109	381	373	354
Колесо рулетки + однородный, сек	155	150	147	339	310	297	145	136	127	404	383	375
Турнирная селекция + однородный, сек	134	122	109	297	278	260	112	108	102	379	370	344
Ранговая селекция + однородный, сек	148	132	127	320	301	284	126	119	112	394	376	359
Блочно-поточный параллелизм												
Селекция (одноточечный кроссингвер)												
Количество бло-ков/потоков	128	256	512	128	256	512	128	256	512	128	256	512
Колесо рулетки, сек	125	123	113	281	265	251	110	107	101	247	235	224
Турнирная селекция, сек	107	97	92	253	236	222	95	90	87	232	220	203
Ранговая селекция, сек	115	104	100	266	258	242	100	92	88	243	228	214
Кроссингвер (турнирная селекция)												
Одноточечный, сек	106	97	94	254	235	226	97	92	86	232	219	205
Двухточечный, сек	115	103	98	269	241	240	115	109	98	247	234	219
Однородный, сек	120	112	106	277	258	251	123	118	114	260	249	233
Селекция и кроссингвер												
Колесо рулетки + одноточечный, сек	123	119	116	282	265	250	113	108	100	249	233	225
Турнирная селекция + одноточечный, сек	108	94	90	252	237	225	98	91	84	235	223	204
Ранговая селекция + одноточечный, сек	114	106	99	265	260	249	107	95	94	245	229	216
Колесо рулетки + двухточечный, сек	138	127	121	300	285	274	136	119	112	278	249	236
Турнирная селекция + двухточечный, сек	116	103	95	262	240	230	105	101	97	240	231	214

Окончание таблицы 1

Ранговая селекция + двух-точечный, сек	134	114	109	284	273	266	118	106	99	261	244	229
Колесо рулетки + однородный, сек	157	143	139	335	301	292	156	130	128	294	266	250
Турнирная селекция + однородный, сек	121	112	107	279	255	250	124	120	116	267	248	231
Ранговая селекция + однородный, сек	146	133	119	302	288	277	140	128	120	276	251	243

Полученные экспериментальные результаты необходимы для построения регрессионной модели [6].

3. Построение регрессионной модели

Для исследования влияния факторов, описанных выше, введем условные обозначения:

1. a – количество особей;
2. b – количество блоков;
3. c – количество потоков;
4. d – сложность функции;
5. e – тип селекции;
6. f – тип кроссинговера.

Согласно теории факторного анализа [7], уравнение регрессии будет иметь 6-ой порядок, поэтому необходимо рассмотреть следующие комбинации переменных:

- Блочный параллелизм:
 - $a b d e$ – селекция (одноточечный кроссинговер);
 - $a b d f$ – кроссинговер (турнирная селекция);
 - $a b d e f$ – селекция и кроссинговер;
- Поточный параллелизм:
 - $a c d e$ – селекция (одноточечный кроссинговер);
 - $a c d f$ – кроссинговер (турнирная селекция);
 - $a c d e f$ – селекция и кроссинговер;
- Блочно-поточный параллелизм:
 - $a b c d e$ – селекция (одноточечный кроссинговер);
 - $a b c d f$ – кроссинговер (турнирная селекция);
 - $a b c d e f$ – селекция и кроссинговер.

Таким образом, уравнение регрессии для полного факторного эксперимента будет выглядеть следующим образом:

$$y = k_1 abde + k_2 abdf + k_3 abdef + k_4 acde + k_5 acdf + k_6 acdef + k_7 abcde + k_8 abcdf + k_9 abcdef,$$

где $k_1 - k_9$ – коэффициенты значимости влияния соответствующего фактора на работу многопоточной части алгоритма. В данном случае основной уровень и интервал (шаг) варьирования определить невозможно, поскольку половина факторов имеет качественные значения.

Эксперименты проводились в трех группах: блочная, поточная, блочно-поточная. Поэтому количество необходимых экспериментов составляет 192 (из них 64 в блочной группе, 64 в поточной группе и 64 в блочно-поточной группе).

План эксперимента удобно задавать таблицей, называемой матрицей планирования эксперимента, включающей в себя значения факторов и эффектов их взаимодействий, а также значения исследуемой функции, называемой параметром оптимизации. Так как в данном исследовании нас интересует взаимодействие только определенных факторов, то расширен-

ная матрица планирования факторного эксперимента была сокращена до 9 сочетаний факторов. Таким образом, факторный эксперимент имеет 192 опытов и включает все возможные комбинации уровней 6 факторов.

Определим коэффициенты уравнения, характеризующих эффекты взаимодействия. Коэффициент k_l вычисляется по следующей формуле:

$$k_l = (\sum_{i=1}^N \sum_{\substack{j=1 \\ j \leq i}}^N x_i x_j Y_{m_{\text{эксн}}}) / N,$$

где l – номер коэффициента, i и j – номера факторов эксперимента, x_i, x_j – условные значения факторов (-1, если рассматривается нижняя граница диапазона варьирования фактора, и 1, если верхняя граница), $Y_{m_{\text{эксн}}}$ – результаты эксперимента m , N – количество экспериментов.

Таблица 2. Коэффициенты эффекта парного взаимодействия

Блочная группа			Поточная группа			Блочно-поточная группа		
Селекция	Кроссин-говер	Селекция+ кроссин-говер	Селекция	Кроссин-говер	Селекция+ кроссин-говер	Селекция	Кроссин-говер	Селекция+ кроссин-говер
0,21	0,03	0,25	0,03	0,31	0,72	0,34	0,63	0,84

С учетом всех найденных коэффициентов основное уравнение регрессии для полного факторного эксперимента будет выглядеть следующим образом:

$$y = 0,21abde + 0,03abdf + 0,25abdef + 0,03acde + 0,31acdf + 0,72acdef + 0,34abcde + 0,63abcdf + 0,84abcdef.$$

Проанализируем данное уравнение регрессии. Во всех группах сильное влияние на время работы многопоточной части генетического алгоритма оказывает комбинация определенного типа селекции и кроссинговера, особенно в блочно-поточной группе. Селекция в отдельности мало важна в поточной группе, а кроссинговер – в блочной группе. При сравнении типа распараллеливания блочно-поточная группа наиболее сильно влияет на производительность программного модуля.

Выводы

Таким образом, в результате проведения экспериментальных исследований было установлено:

- все параллельные версии генетического алгоритма дают улучшение по времени работы в сравнении с последовательным вариантом реализации;
- вид целевой функции заметно влияет на работу параллельного генетического алгоритма – ее сложность определяет рост временных затрат как минимум в 2 раза;
- производительность алгоритма повышается при увеличении количества особей;
- блочный и поточный параллелизм CUDA при таком наборе исходных данных дают примерно одинаковый эффект;
- значительное уменьшение времени работы наблюдается при организации блочно-поточного параллелизма (по сравнению с последовательной версией временные затраты сокращаются примерно в 3 раза);
- применение многопоточного генетического алгоритма целесообразно при большем количестве особей.

Библиографический список

1. Гладков Л.А., Курейчик В.В., Курейчик В.М. Генетические алгоритмы [Текст] / Под ред. В.М. Курейчика. — 2-е изд., испр. и доп. — М.: ФИЗМАТЛИТ, 2006. — 320 с.
2. Курейчик В.М., Кныш Д.С. Параллельный генетический алгоритм. Модели и проблемы построения // V-я Международная научно-практическая конференция «Интегрированные модели и мягкие вычисления в искусственном интеллекте» (28-30 мая 2009 г., Коломна, Россия): Сборник научных трудов. В 2-т., М: Физматлит, 2009, Т.1, с.41-51.
3. Жуков Р.А., Плехов П.В. Реализация параллельного генетического алгоритма на архитектуре NVIDIA CUDA // JUVENIS SCIENTIA, 2016, №3, с. 8-10.
4. Сковрцов С.В., Фетисова Т.А., Сковрцова Т.С. Ускорение процессов обработки данных большого объема средствами графических процессоров // Сборник научных трудов «Известия ТулГУ», выпуск 2, г. Тула, 2019 г., с. 312-319.
5. Сковрцов С.В., Фетисова Т.А. Направления исследований параллельных генетических алгоритмов // Сборник трудов III Международной научно-технической и научно-методической конференции «Современные технологии в науке и образовании», СТНО - 2020. Рязань, 2020. — Том 3, с. 98-105.
6. Планирование экспериментов и обработка экспериментальных данных. В.И. Финаев. Учебное пособие, 2013г.
7. Теория планирования эксперимента и анализ статистических данных: учебное пособие / Н. И. Сидняев. — М.: Издательство Юрайт; ИД Юрайт, 2011.
8. S. Skvortsov, T. Fetisova, D. Perepelkin, D. Fetisov. Approach of Acceleration of Genetic Algorithm on CUDA platform // 8th Mediterranean Conference on Embedded Computing (MECO), 2019 - DOI: 10.1109/MECO.2019.8760016.
9. Фетисова Т.А., Фетисов Д.В. Модель двухуровневого распараллеливания генетического алгоритма на графических процессорах // XXIV Всероссийской научно-технической конференции студентов, молодых ученых и специалистов «Новые информационные технологии в научных исследованиях» НИТ-2019, г. Рязань, 2019, с. 177-179.

УДК 004.032.26; ГРНТИ 28.23.37

АНАЛИЗ ВНУТРЕННЕЙ СТРУКТУРЫ И ЛОГИКИ ПОЛУЧЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ В КЛАССИФИКАТОРЕ ГРАФОВОЙ КАПСУЛЬНОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ

К.А. Майков*, Б.Н. Смирнов*

* Московский Государственный Технический Университет им. Н.Э. Баумана, Россия, Москва,
maikov@bmstu.ru, smirnovboris@yandex.ru

Аннотация. Рассмотрена работа классификатора капсульно-графовой нейронной сети с эквивариантными графами, проанализирована причина низкой точности их классификации, предложена регуляризация матриц трансформации для улучшения результатов работы сети.
Ключевые слова: капсульные нейронные сети, задача классификации графов, инвариантность графов, анализ структуры нейросетей.

ANALYSIS OF THE INTERNAL STRUCTURE AND RESULTS RECEPTION LOGIC OF A GRAPH CAPSULE NEURAL NETWORK'S CLASSIFIER

K.A. Maikov*, B.N. Smirnov*

* Bauman Moscow State Technical University,
Russia, Moscow, maikov@bmstu.ru, smirnovboris@yandex.ru

Abstract. The work of the classifier of a capsule-graph neural network with equivariant graphs is addressed, the reason for the low accuracy of their classification is analyzed, and the regularization of transformation matrices to improve the results of the network is proposed.
Keywords: capsule neural network, graphs classification problem, graphs invariance, analysis of the neural networks' inner structure.

Вычислительно быстрые и приемлемо точные решения задачи классификации графовых объектов актуальны для многих практических областей хозяйственной и научной дея-

тельности (от молекулярной биологии и химической информатики до внутриорганизационных бизнес-процессов и проверки программного обеспечения [1]).

Традиционный подход машинного обучения в её решении заключается в применении архитектуры графовых нейронных сетей (графовые объекты в первых, входных, слоях сети преобразуются в «плоские» векторы, содержащие в себе максимум полезной информации о графовой структуре, далее применяются классические методы глубокого обучения).

Итогом работы таких сетей при классификации новых графовых объектов являются скалярные результаты всех преобразований внутренних слоёв сети, что часто подразумевает потерю существенной части важной нелокальной информации о структуре исходных графов при её передаче между этими слоями.

Подход к задаче классификации графов с применением архитектуры капсульных нейронных сетей сохраняет информацию о структуре обрабатываемых графовых объектов (прежде всего, за счёт перехода от скаляров к многомерным структурам – капсулам во внутренних слоях сети), известно несколько вариантов его реализации, например, [2], [3].

При этом на практике результаты классификации графовых объектов капсульными сетями не всегда выглядят столь же многообещающе, как их теоретические преимущества (прежде всего, по уровню точности классификации тестовой выборки, часто не достигающим до 70%).

Очевидно, что для выяснения причин подобного положения дел необходимо обратиться к рассмотрению логики работы внутренних слоёв такого рода сетей. Поэтому важной задачей для дальнейшего развития направления классификации графов с применением архитектуры капсульных нейронных сетей является анализ внутренней структуры и логики работы получаемого в ходе обучения такого рода сети классификатора и интерпретация полученных им классификаций. Такой анализ поможет выявить возможные «узкие места» в процессе их обучения и, вероятно, позволит внести допустимые оптимизации в архитектуру капсульных сетей в части классификации графовых объектов.

Анализ ключевых особенностей внутренних слоёв капсульных сетей

Капсульные нейронные сети предложенные Хинтоном и его коллегами в 2017 г. [4], в теории позволяют преодолеть многие недостатки классических свёрточных нейронных сетей в задаче классификации изображений, прежде всего, потому что их архитектура позволяет классифицировать так называемые эквивариантные объекты в один и тот же класс (эквивариантность – это свойство объекта I , при котором применение преобразования симметрии g и последующее вычисление какой-либо допустимой функции f на объекте, графе и т.п. дает тот же самый результат, что и вычисление этой функции с последующим применением такого преобразования: $f(g(I))=g(f(I))$, другими словами, поворот лица на изображении, или перестановка вершин графа (g) должны распознаваться (f) нейронной сетью с таким свойством как исходные лицо и граф, после преобразования g ; отметим, что инвариантность объекта в данных обозначениях означает следующее: $g(I)=I$, а, следовательно, $f(g(I))=f(I)$, то есть параллельный перенос лица в кадре будет распознан как исходное лицо без такого переноса; архитектура свёрточных нейронных сетей уже обладает локальной инвариантностью за счёт операции «max pooling», но не обладает эквивариантностью).

Отметим, что свёрточным нейронным сетям, не обладающим свойством эквивариантности, нужны миллионы изображений для своего обучения. Почему у них имеется такое требование? Ответ на этот вопрос лежит в основе того, как свёрточная нейронная сеть выполняет задачу сегментации (распознавания) изображений: она полностью основана на измерении интенсивности пикселей, другими словами, на обнаружении содержимого изображения независимо от относительного положения содержимого друг к другу. Поскольку пространственная информация о распознаваемых объектах в таких сетях игнорируется, они не могут

распознать один и тот же объект в другой позе или под другим углом обзора без большой входной выборки (до миллионов) таких изображений (например, если тренировать свёрточную нейронную сеть с лицом человека в анфас, а затем подать на вход его боковой профиль, такая сеть, вероятно, не сможет распознать лицо, потому что информация о пространственных координатах в её внутренних слоях отсутствует).

Концепция капсульных нейронных сетей основана на пространственной ориентации (позе), а не на интенсивности пикселей. Таким образом, капсульная сеть пытается проанализировать изображение во всех доступных измерениях, чтобы модель была невосприимчива к любым пространственным вариациям входных данных. Капсульные сети можно рассматривать в качестве «многомерного» расширения свёрточных нейронных сетей, в котором на вход от предыдущего слоя передаются не скаляры, а тензоры (векторы u_i , или матрицы M_i), вводится дополнительная к взвешиванию сумм весов нейронов операция аффинного преобразования (в векторном виде: $u'_{ji} = W_{ij}u_i$, в матричном виде: $V_{ij} = M_i W_{ij}$), а также нелинейная функция активации отдельных капсул (вместо нейронов) [5].

Ключевая идея капсульных нейронных сетей заключается в интерпретации входных данных в качестве набора составных, сложных объектов, состоящих из более простых частей и поиска такого рода объектов во входной информации [6].

Другими словами, у архитектуры свёрточных сетей слишком мало уровней структуры, чтобы адекватно моделировать сущности во входных данных (есть только нейроны, слои и целая сеть, но «нет места» для сущностей). В капсульных сетях, напротив, нейроны в каждом слое сгруппированы для отображения определённой сущности, например, графового объекта определённой структуры, выполнения определённой функции и вывода компактного результата, такие группы нейронов в этих сетях и называются капсулами, капсулы делают сеть модульной.

Капсулы осуществляют фильтрацию совпадений во входных данных и предыдущих слоях сети, чтобы отбросить выбросы и найти кластеры схожей информации. Если капсула находит «плотный» кластер, она генерирует на своём выходе высокую вероятность того, что объект такого типа существует, и также возвращает на своём выходе значение центра тяжести такого кластера.

Выбор архитектуры капсульной сети для анализа графовых объектов

С момента первых применений архитектуры капсульных нейросетей было предположено несколько попыток её обобщения для применения в задаче классификации графов. Как было отмечено, классификация графов является важной задачей во многих научных областях. В рамках машинного обучения с учителем она может быть переформулирована как изучение структуры, признаков и отношений между признаками в наборе помеченных графов и умение правильно предсказывать метки или категории невидимых (новых, тестовых) графов.

При этом сложность классификации графов на основе архитектуры капсульных нейронных сетей связана с проблемой отображения экземпляров различных размерностей к представлению фиксированного размера: для графов, в частности, проблема возрастает из-за требования инвариантности перестановок его вершин, а в общем случае – эквивариантности искомого классификатором графа. Например, при получении на вход двух изоморфных графов, в которых идентификаторы узлов в одном являются перестановкой другого, классификатор графов должен признать их эквивалентность.

Далее используется капсульно-графовая нейронная сеть из [3], а не из, например, [2], прежде всего, потому что она позволяет преодолеть вышеуказанную сложность анализа входных графов различной размерности: встроенный как отдельный слой сети «модуль внимания», используется для работы с графами различных размеров, что позволяет модели сосредоточиться на критических (с точки зрения содержащейся информации) частях каждого из них.

Исходный код реализации данной сети находится в открытом доступе (<https://github.com/benedekrozemberczki/CapsGNN>). В эксперименте далее выбраны базовые («по умолчанию») настройки данной сети, приведённые в таблице 1 далее – только количество эпох обучения уменьшено, для упрощения расчётов, до 30.

Таблица 1. Настройки «по умолчанию» для капсульно-графовой сети из [3], используемые в данной работе.

Показатели	Значения
epochs (количество эпох обучения)	30
batch-size (размер пачки, набора данных, обрабатываемых совместно при обучении сети)	32
gcn-filters (число графово-капсульных фильтров)	20
gcn-layers (количество графово-капсульных слоёв)	2
inner-attention-dimension (внутренняя размерность «модуля внимания» выборки графов)	20
capsule-dimensions (длина вектора параметров в капсуле)	8
number-of-capsules (число капсул в отдельном слое)	8
weight-decay (итеративное уменьшение весовых коэффициентов – порядок)	10^{-6}
learning-rate (относительная скорость обучения нейросетевой модели)	0.01
lambd (loss combination weight)	0.5
theta	0.1

Интерпретация работы внутренних слоёв сети на эквивариантных данных

Одним из преимуществ архитектуры капсульных нейронных сетей (по сравнению со свёрточными сетями, как минимум) является встроенная возможность интерпретации логики работы слоёв сети при классификации новых входных объектов. Возможность такой интерпретации хорошо иллюстрируется рисунком на основе материалов из [7], где изображено несоответствие векторов-параметров для капсул частей лица с изображением лица в капсуле следующего слоя. Первый элемент каждого вектора параметров – это вероятность того, что данная капсула распознала тестируемый объект. А второй элемент – вектор предсказания капсулы. Хотя все компоненты лица существуют с высокой вероятностью, их несогласие между собой при проецировании на следующий слой такой сети объясняет полученную низкую вероятность для «лицевой» капсулы следующего слоя.

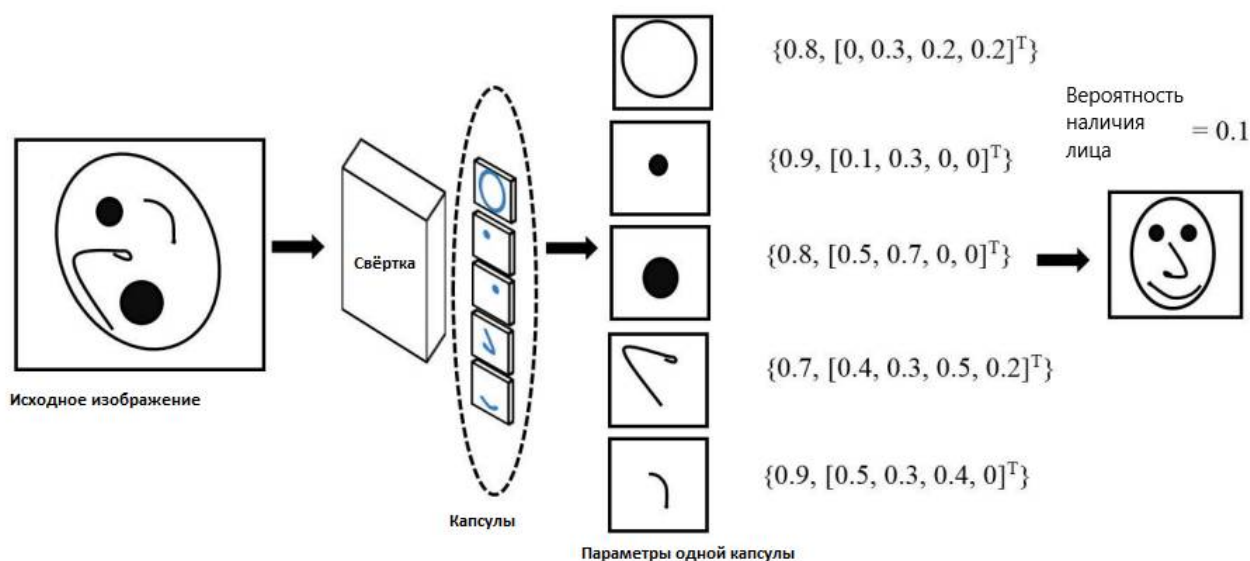


Рис. 1. Иллюстрация из [7] встроенной возможности интерпретации логики работы слоёв капсульной сети

Для интерпретации логики работы внутренних слоёв сети на эквивариантных данных (инвариантах, эквивариантах одного и того же графа) и объяснения указанного выше проти-

воречия между высоким теоретическим потенциалом применения капсульной архитектуры для анализа графовых объектов и низкой точностью (менее 70%) получаемых результатов классификации на стандартных графовых тестовых выборках, проведём следующий эксперимент.

Передадим на вход капсульно-графовой нейронной сети из [3], обученной на стандартном наборе графовых объектов (30 штук, по 10-20 вершин с 20-30 связями между ними, см. рисунок 2) два эквивариантных представления одного и того же графа (с удалёнными 1-2 рёбрами между различными вершинами в каждом из вариантов).

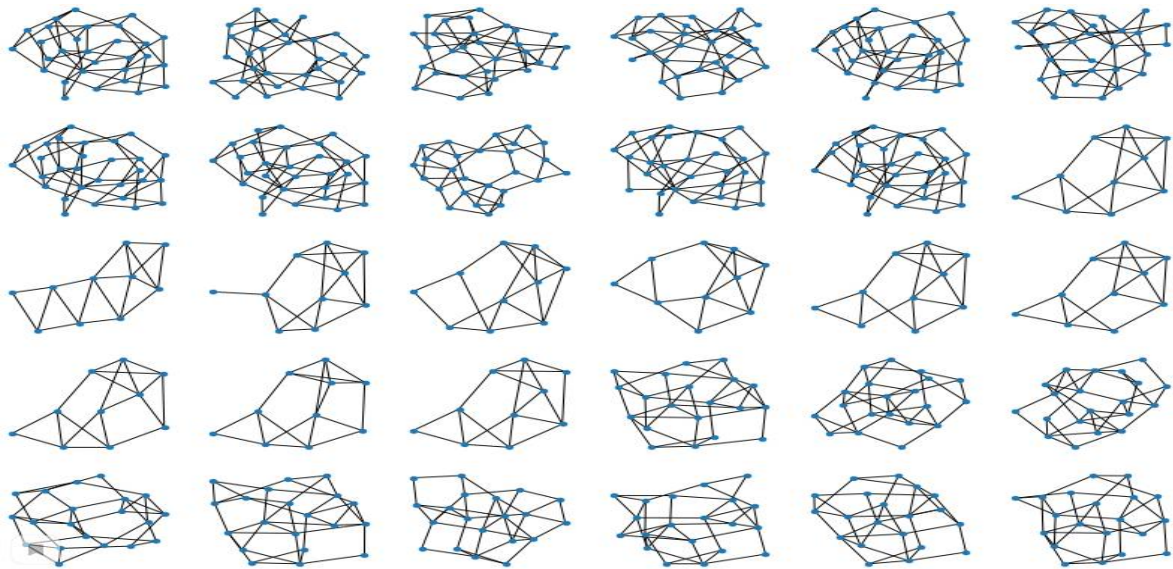


Рис. 2. Набор тестовых графов, эквивариантных, каждый своей группе из 3 групп по 11, 10 и 9 графов, для эксперимента

В результате получаем их отнесение данной сетью к разным графовым объектам, не совпадающим с тестовыми метками (для разных типов графов точность не превышала 30%, см. код теста на языке программирования Python по ссылке Google Colab в https://colab.research.google.com/drive/1Ma76LldwPPolleUZ30K_sdOmo3hsLWEx?usp=sharing). При этом внутренняя структура классификатора сети показывает, что матрицы трансформации W_{ij} классификатора не настроены на правильную интерпретацию таких графов как одного объекта: точность в их распознавании стремится к нулю. Такие результаты для эквивариантных графов, в свою очередь, объясняют низкую практическую точность обученных классическим методом обратного распространения ошибки капсульно-графовых нейронных сетей при классификации графовых объектов.

Выводы

На основе проведённого в статье анализа и экспериментальной проверки наличия свойства эквивариантности в вышеуказанной архитектуре капсульной графовой сети возможно предложить следующую оптимизацию сетевого классификатора: необходимо в программной реализации этапа обучения такой сети на графовых объектах задать ограничение на матрицы трансформации, W_{ij} , внутренних (вторичных) капсульных слоёв, заключающееся в том, что при подаче на вход двух эквивариантных графов (с перестановками вершин – технически, через перестановки нумерации вершин в матрице смежности, – или с удалением по одному, но разному, ребру графа, предполагая, что графы достаточно большие по числу рёбер, в каждом из них), матрицы трансформации должны их переводить в одну и ту же кап-

сулу следующего слоя, иначе веса таких матриц необходимо итеративно подбирать в процессе обучения далее, до момента соблюдения данного ограничения.

Таким образом, в данной работе был кратко описан механизм работы капсульной и капсульно-графовой нейронных сетей, проведён эксперимент с классификацией эквивариантных графовых объектов, проанализирована причина низкой точности их классификации, а также предложена регуляризация матриц трансформации для улучшения результатов работы указанного типа нейросетевой архитектуры.

Библиографический список

1. Hlineny P., Filip P., Bodhayan R. First-order model checking on geometric graphs. - Computational Geometry, 79: Elsevier, 2019. - pp.1-19.
2. Maikov K.A., Smirnov B.N., Pylkin A.N., Bubnov A.A. Capsule neural nets for graph objects classification - 2021 IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng., 1047 012136, 2021.
3. Zhang X., Lihui C. Capsule Graph Neural Network. - ICLR, 2019.
4. Hinton G.E., Sabour S., Frosst N. Dynamic routing between capsules. - Advances in neural information processing systems, 2017. - pp. 3856-3866.
5. Майков К.А., Смирнов Б.Н. Сравнительный анализ архитектур капсульных нейронных сетей / К.А. Майков, Б.Н. Смирнов // Системный администратор, 2019 № 11. - С.88-91.
6. Per-Arne A. Deep Reinforcement Learning using Capsules in Advanced Game Environments. - Master's Thesis, University of Agder, 2018.
7. Shahroudnejad A., Afshar P., Plataniotis K.N., Mohammadi, A. Improved explainability of capsule networks: Relevance path by agreement. - 2018 IEEE Global Conference on Signal and Information Processing (GlobalSIP), 2018. - pp. 549-553.

УДК 621.396; ГРНТИ 47.47

ИССЛЕДОВАНИЕ И АНАЛИЗ СВАРОЧНОГО АППАРАТА

А.Д. Маслова

*Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань, nastya.maslova24@yandex.ru*

Аннотация. В работе рассматривается температурный режим сварочного аппарата. Проводится исследование и анализ устройства. Предлагаются методы оптимизации работы сварочного инвертора.

Ключевые слова: сварочный инвертор, Sensor Shuttle, температурный режим, турбулентный режим.

THE STUDY AND ANALYSIS OF THE WELDING MACHINE

A.D. Maslova

*Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,
Russia, Ryazan, nastya.maslova24@yandex.ru*

The summary. The article deals with the temperature regime of the welding machine. The device is examined and analyzed. Methods for optimizing the operation of the welding inverter are proposed.

Keywords: welding inverter, Sensor Shuttle, temperature regime, turbulent mode.

В современном производстве сварочная техника и технология сварки занимают одно из ведущих мест. Определенная часть сырьевого продукта для различных предприятий и заводов производится с помощью сварки и подобных ей технологий.

Сварочный процесс имеет много классификаций, и каждому виду сварки предназначен определенный вид устройства. Наиболее часто в работе используют сварочные инверторы. Инверторными сварочными аппаратами можно сваривать черные и цветные металлы, любой толщины, при разнообразных пространственных положениях и любыми электродами.

Электрическая дуга инверторов имеет тонкую регулировку своих характеристик. Это позволяет избежать разбрызгивания при сварочном процессе, получить точный и ровный шов, позволяет производить работы с тонкими листовыми металлами. Данный вид устройств имеют функции: antisticking – антиприлипание электрода, hot start – горячий старт, arc force – импульсная сварка. Эти свойства позволяют выполнять качественно работу, при сваривании деталей, даже новичкам.

Приведем основные достоинства данного устройства:

1. Позволяют получать самую стабильную электродугу;
2. Большая часть настроек инверторов автоматизированы;
3. В них имеется большое количество полезных функций таких, как антизалипание электрода, автостабилизация показателей мощности и др.;
4. Маленький вес и небольшой размер;
5. Надежная защита от перепадов сетевых напряжений;
6. Высокие характеристики КПД – около 90%.

Исходя из ряда преимуществ и потребительской востребованности данного вида оборудования, для исследования мною был выбран сварочный аппарат постоянного тока марки ФОРСАЖ-161 (рис.1) промышленного применения, предназначенный для ручной электродуговой сварки стальных материалов, деталей и агрегатов.

Данный аппарат изготавливался на АО «Государственный Рязанский приборный завод».



Рис. 1. Сварочный аппарат постоянного тока марки ФОРСАЖ-161

Исходя из ряда преимуществ, ФОРСАЖ-161 имел один значительный недостаток – это перегрев.

Для инвертора при нормальной температуре окружающей среды $+(25\pm 2)^\circ\text{C}$ и при максимальном сварочном токе показатель процента нагрузки составляет 50 %, что соответствует циклическому режиму 2 минуты 30 с – работа, 2 минуты 30 с – перерыв. При использовании сварочного устройства это неудобно, так как в значительной мере сокращается длительность рабочего цикла сварочного аппарата и много времени уходит на охлаждение устройства. Было решено провести анализ температурного режима инвертора.

Для исследования распределения температуры в сварочном аппарате было выбрано современное оборудование компании ERSA - Sensor Shuttle (рис 2.)



Рис. 2. Sensor Shuttle

Измерения температурного профиля проводятся путем закрепления на поверхности печатной платы до десяти термопар.

Приоритетными точками для замера температуры в сварочном аппарате я определила:

- 1) на печатной плате под импульсным трансформатором;
- 2) в свободной зоне печатной платы;
- 3) на импульсном трансформаторе;
- 4) на радиаторе транзистора;
- 5) внутри сварочного аппарата на лицевой панели в верхней части;
- 6) внутри сварочного аппарата на лицевой панели в нижней части;
- 7) внутри сварочного аппарата в районе нижней части задней панели;
- 8) под вентилятором;
- 9) в правом верхнем углу внутри сварочного аппарата.

Было выявлено, что распределение температуры внутри инвертора не равномерное. На импульсном трансформаторе и радиаторе транзистора она очень завышена. Вследствие чего происходит перегрев сварочного аппарата. При дальнейшем эксплуатировании это может привести к отказу работы устройства.

Превышение температуры происходит из-за того, что вентилятор не полностью выдувает горячий воздух из сварочного аппарата. В верхней части инвертора воздушные потоки упираются в стену, так как им не хватает площади жалюзи, чтобы выйти наружу, затем отталкиваются и начинают крутиться, создавая дополнительный температурный режим, тем самым образуется турбулентность внутри оборудования (рис. 3).

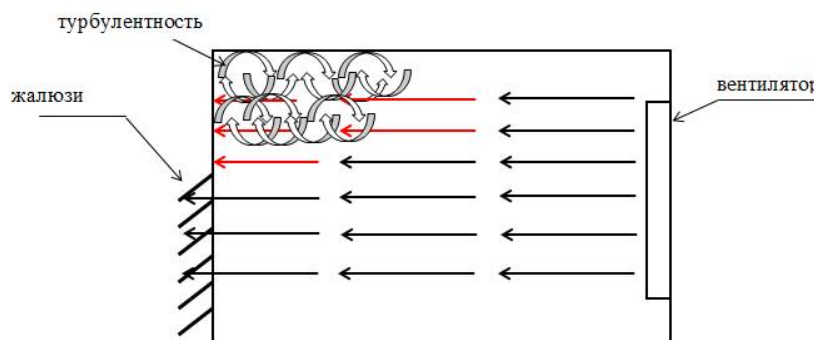


Рис. 3. Турбулентность внутри сварочного аппарата

Из проведенных исследований стало очевидно что, площадь пропускной способности горячего воздуха через жалюзи очень мала.

$$S_{\text{приточ.окон}} = 1\text{см} * 12\text{см} * 5\text{шт} = 60\text{см}^2$$

Было принято решение увеличить количество жалюзи на корпусе сварочного аппарата. Добавим их сверху и по бокам корпуса.

При проектировании систем вентиляции в технической литературе рекомендуется придерживаться следующей формуле:

$$S_{\text{вент}} \ll S_{\text{приточ.окон}}$$

Посчитаем площадь вентилятора:

$$S_{\text{вент}} = \frac{1}{4} \pi d^2 = \frac{1}{4} \pi 90^2 = 64\text{см}^2.$$

Площадь приточных окон после добавления дополнительных отверстий:

$$S_{\text{приточ.окон}} = 1\text{см} * 12\text{см} * 12\text{шт} = 144\text{см}^2.$$

Как видно из расчетов, площадь жалюзи почти в три раза стала больше площади вентилятора. Следовательно, пропускная способность горячего воздуха стала больше. Потoki горячего воздуха полностью выходят из корпуса инвертора, тем самым не создавая турбулентности.

Ввиду этого изменения я добилась того, что эффективность охлаждения сварочного инвертора возросла, и вероятность перегрева снизилась до минимума.

Библиографический список

1. Аппарат сварочный постоянного тока. Руководство по эксплуатации ВИАМ.683151.026РЭ
2. Чернышов Г.Г. «Сварочное дело, сварка и резка металлов», Москва, 2007
3. Колчанов Л.А. Сварочное производство. Учебное пособие – Ростов н/Д: «Феникс», 2002.

УДК 004.92; ГРНТИ 50.41.25

ОБОБЩЕНИЕ И РАЗВИТИЕ МЕТОДОВ ВЫЧИСЛЕНИЯ ТРЕХМЕРНЫХ ФРАКТАЛЬНЫХ СТРУКТУР

А.А. Теплов

*Московский Государственный Технический Университет им. Н.Э. Баумана,
Российская Федерация, Москва, teploff.aa@gmail.com*

Аннотация. Предложено обобщение и развитие существующих методов вычисления трехмерных фрактальных структур в виде функционального объединения вариативного выбора исходного базового примитива, стохастического разбиения граней базовой структуры на мелкие составляющие и дальнейшего инкрементирования или декрементирования исходной модели на каждом из итерационных циклов. Разработан обобщенный алгоритм вычисления трехмерных фрактальных структур, реализующий предложенную концепцию. Вычислен полиэдр, подтверждающий эффективность предложенного метода и разработанного алгоритма.

Ключевые слова: трехмерные фракталы, виртуальная реальность, формирования трехмерных фрактальных структур.

GENERALIZATION AND DEVELOPMENT OF METHODS FOR CALCULATING THREE-DIMENSIONAL FRACTAL STRUCTURES

A.A. Teplov

*Bauman Moscow State Technical University,
Russia, Moscow, teploff.aa@gmail.com*

The summary. A generalization and development of existing methods for calculating three-dimensional fractal structures is proposed in the form of a variable choice functional combination of the original base primitive, stochastic partitioning of the faces of the base structure into small components, and further incrementing or decrementing the original model on each of the iterative cycle. A generalized algorithm for calculating three-dimensional fractal structures is developed, which implements the proposed concept. The polyhedron confirming the efficiency of the proposed method and the developed algorithm is calculated.

Keywords: three-dimensional fractals, virtual reality, the formation of three-dimensional fractal structures.

При решении задач в бурно растущих областях виртуальной и дополненной реальностей существует проблема [1] в формировании и вычислении объектов реального мира с заданной масштабной инвариантностью. Природа таких объектов зачастую нерегулярна и квазипериодична, поэтому применение методов и объектов классической геометрии для их формирования – трудоемкая задача. Одним из решений данной проблемы является применение математического фрактального аппарата [2], преимущественной особенностью которого является подход к вычислению сложной структуры на основе примитивных компонентов с

дальнейшим ее уточнением. Поэтому на практике стоит задача в создании практически приемлемого метода и алгоритмов вычисления сложных структур с необходимой величиной детализации.

Обобщение и развитие существующих методов

Известен ряд методов формирования трехмерных фракталов [3], таких как: «губка Менгера» [4], «пирамида Серпинского» [5], «фрактал Романеско» [5], «оболочка Мандельброта» [2], которые, очевидно, применимы для решения узких классов задач, характеризующихся ограниченной и однородной фрактальной структурой. Такие структуры сложно оценивать, как нерегулярные объекты реального мира, построенные в условиях псевдо- и дополненной реальности. Поэтому целесообразно обобщить используемые подходы в указанных методах с целью обеспечения нерегулярной, стохастической, фрактальной структуры результирующего объекта, а именно:

- вариативный выбор исходного базового трехмерного примитива. Может быть выбрана трехмерная модель, подходящая для решения конкретного класса задач, например, икосаэдр;
- декомпозиция каждой из граней исходной модели на произвольные двумерные примитивы;
- каждая из граней базового примитива может быть неоднородно разбита на другие примитивы, например, одна из граней на треугольники, а другая — на прямоугольники;
- вариативный выбор операции над структурой. Результирующая структура может быть получена не только путем декрементирования, но и инкрементирования исходной модели.

Инкрементирование и декрементирование трехмерной фрактальной модели

Как уже было сказано ранее, результирующий фрактал может быть получен путем инкрементирования и декрементирования исходной модели. В данной работе рассматривается построение фрактальной структуры с использованием операции инкрементирования, поскольку основные аспекты, принадлежащие операции декрементирования, изложены в [6]. Инкрементирование может быть представлено двумя способами:

- простая (прямая) конкатенация;
- составная конкатенация.

Прямая конкатенация представлена в виде композиции трехмерных примитивов, которые соединены гранями между собой без каких-либо предварительных операций. В качестве примера можно привести операцию «склеивания» двух кубов, формирующую параллелепипед. В основе составной конкатенации лежит операция деформации одной из граней трехмерной структуры на подмножество отдельных примитивов с последующей конкатенацией. Например, если одной из граней исходной структуры является ромб, то он может быть представлен в виде совокупности четырех прямоугольных треугольников, несколькими прямоугольниками с меньшей масштабной инвариантностью и т. д., что открывает вариативность инкрементирования с другими трехмерными объектами.

Под масштабной инвариантностью понимается вычисление двумерной структуры с иным коэффициентом масштабирования. Подмножество примитивов может быть получено путем проведения: диагоналей, биссектрис, высот, радиусов, апофем и т. д. Также в рассматриваемый двумерный примитив можно вписать и вокруг него описать окружность, что позволит конкатенировать с фигурой, у которой гранью является окружность.

Обобщенный алгоритм вычисления трехмерных фрактальных структур

Обобщенный алгоритм вычисления трехмерных фрактальных структур состоит из четырех этапов:

- инициализация. Определение базовых примитивов и количества итерационных циклов;
- декомпозиция. Каждая грань примитива разбивается на N-конечное множество двумерных примитивов;
- инкрементирование. Для каждого получившегося двумерного примитива инкрементировать область базового примитива;
- композиция. В конце полного итерационного цикла появляется новая структура, с новым количеством граней.

Каждый из этапов носит итеративный характер и выполняется в строго описанном порядке. Количество итераций зависит от требуемой масштабной инвариантности для решения поставленной задачи.

Схема алгоритма представлена на рисунке 1.

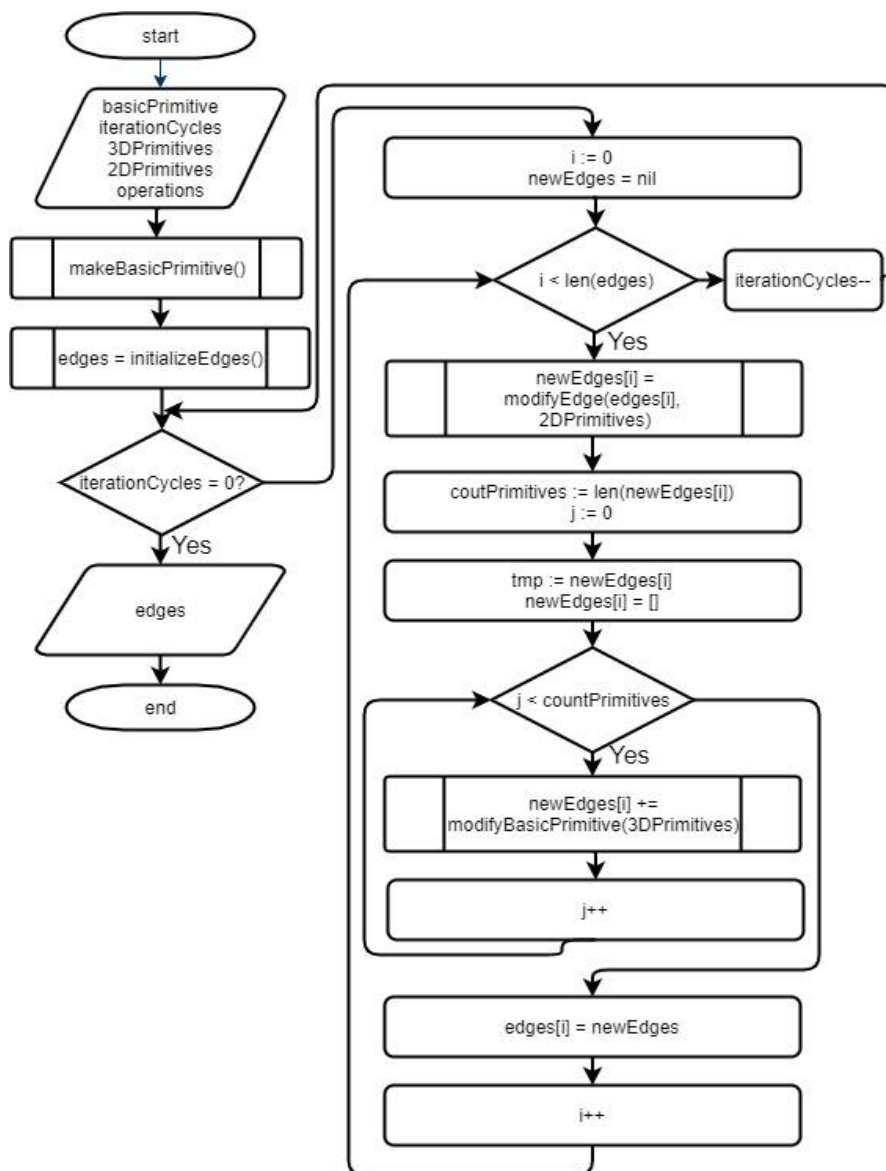


Рис. 1. Схема обобщенного алгоритма построения трехмерных фрактальных структур

Формирование полиэдра

Для подтверждения эффективности предложенного алгоритма предлагается построить полиэдр, базовым примитивом которого является тетраэдр. Базовыми или свободно задаваемыми координатами тетраэдра являются точки $T_1(x_1, y_1, z_1)$, $T_2(x_2, y_2, z_2)$, $T_3(x_3, y_3, z_3)$, которые не лежат на одной прямой. Координаты вершины тетраэдра T_4 задаются следующими соотношениями:

$$x_4 = x_7 + \frac{Ah}{N},$$

$$y_4 = y_7 + \frac{Bh}{N},$$

$$z_4 = z_7 + \frac{Ch}{N},$$

где:

A, B и C – коэффициенты уравнения плоскости, на которой лежат точки T_1, T_2, T_3 ;

N – вектор нормали к плоскости;

h – высота тетраэдра, задаваемая величина;

x_7, y_7, z_7 – координаты точки T_7 , являющейся пересечением медиан из вершин треугольника $T_1T_2T_3$.

Инкрементирование структуры осуществляется путем составной конкатенации. На каждой из граней образуется четыре треугольника, центральный из которых является гранью нового тетраэдра, но уже с меньшим масштабом. Операция повторяется до тех пор, пока структура не достигнет необходимой масштабной инвариантности.

На рисунке 2 продемонстрирован вычисленный полиэдр со значением масштабной инвариантности пять.

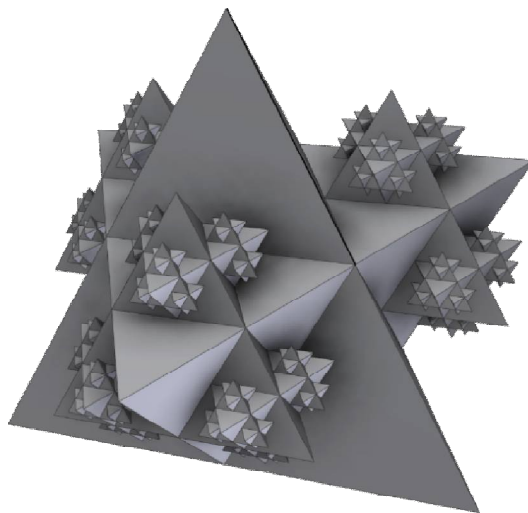


Рис. 2. Вычисленная фрактальная структура со значением масштабной инвариантности пять

Выводы

Предложено обобщение и развитие существующих методов формирования трехмерных фрактальных объектов для построения квазипериодических и стохастических структур с заданной масштабной инвариантностью. Разработан алгоритм, функциональной особенностью которого является формирование трехмерных объектов реального мира посредством вариативного выбора исходного базового примитива и дальнейшего стохастического инкрементирования исходной модели на каждом из итерационных циклов. Реализация обобщенного алгоритма вычисления трехмерных фрактальных структур подтвердила эффективность

предложенного метода на примере вычисления полиэдра, базовым трехмерным примитивом которого выступает тетраэдр.

Библиографический список

1. Теплов А. А., Майков К.А. Алгоритм синтеза трехмерных фрактальных динамических структур // CloudofScience. 2018. Т.5. №3. С. 551-556.
2. Федер Е. Фракталы: Пер. с англ. – М.: Мир, 1991.
3. Мандельброт Б. Фрактальная геометрия природы. — М. : Институт компьютерных исследований, 2002.
4. Балханов В. К. Основы фрактальной геометрии и фрактального исчисления / отв. ред. Башкуев Ю. Б. — Улан-Удэ : Изд-во Бурятского госуниверситета, 2013.
5. Шредер М. Фракталы, хаос, степенные законы. Миниатюры из бесконечного рая. — Ижевск : НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2001.
6. Теплов А. А., Майков К. А. Метод формирования стохастических фрактальных структур // Новые информационные технологии в автоматизированных системах. 2019. № 22. С. 15–18.

УДК 004.72; ГРНТИ 50.39, 50.41

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ КЛАССИФИКАЦИИ СЕТЕВОГО ТРАФИКА В МУЛЬТИПРОВАЙДЕРНЫХ ОБЛАЧНЫХ ИНФРАСТРУКТУРАХ

Д.А. Перепелкин, М.А. Иванчикова

*Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань, ivanchikova.masha@yandex.ru*

Аннотация. В работе приведен обзор задач, решаемых в мультипровайдерных облачных инфраструктурах с помощью классификации сетевого трафика. Описаны ограничения, накладываемые на классификаторы. Предложены методы машинного обучения, которые могут использоваться для решения поставленных задач с использованием классических алгоритмов, выявлены их достоинства и недостатки.

Ключевые слова: машинное обучение, облачные инфраструктуры, классификация трафика.

APPLICATION OF MACHINE LEARNING METHODS FOR NETWORK TRAFFIC CLASSIFICATION IN MULTIPROVIDER CLOUD INFRASTRUCTURES

D.A. Perepelkin, M.A. Ivanchikova

*Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,
Russia, Ryazan, ivanchikova.masha@yandex.ru*

The summary. An overview of the tasks solved in multiprovider cloud infrastructures by the classification of network traffic are provided. Classical machine learning algorithms are described that can be used to solve the assigned tasks, their advantages and disadvantages are revealed.

Keywords: machine learning, multi-provider cloud infrastructures, network traffic classification.

В настоящее время большинство организаций, общественных объединений и физических лиц имеют свои информационные ресурсы, реализованные в виде различных информационных систем. Для их дальнейшего развития необходимо решить ряд задач, связанных с расширением телекоммуникационных структур, интеграцией данных и программного обеспечения, управлением доступом к информации различных категорий пользователей. Распространение сетевых устройств заставляет предприятия искать возможности быстрого масштабирования своих сетевых возможностей и управления сетевыми ресурсами в кратчайшие сроки при минимальных затратах. Однако не каждая компания может себе позволить расходы на покупку дополнительного телекоммуникационного оборудования или аренду площа-

дей для его размещения. Решением данной задачи является использование облачных технологий.

Основная задача облака – оптимизация использования сетевых и вычислительных ресурсов, а также автоматизация процессов их управления. Объединение ресурсов на единой платформе (площадке центра обработки данных (ЦОД)) позволяет обеспечить необходимую конфигурацию сети с возможностью оптимальной оплаты и интеллектуальное построение инфраструктуры, с помощью которой организация может использовать гибкие и быстро масштабируемые задачи и решения.

Облачные вычисления используются повсеместно и, благодаря всё более низкому порогу вхождения, привлекают пользователей с различной компетентностью, широким спектром типов и объемов решаемых задач и требованиями к качеству обслуживания. Поэтому применение классических подходов к управлению ресурсами на практике усложняется наличием различных обслуживающих провайдеров, влиянием нескольких сетевых характеристик или их совокупности на качество функционирования облака в целом, высокой нагрузкой на оборудование и частыми обновлениями информации об изменениях в сети. Кроме того, проблемой при распределении ресурсов становится размер облачной инфраструктуры с ее разнообразием типов сетевого трафика и соединений, которые могут изменяться при переходе от узла к узлу. Применение методов машинного обучения позволит решить задачу классификации сетевого трафика, связанную с повышением эффективности и обеспечением гарантированного качества управления ресурсами в облачных инфраструктурах с любым количеством подключённых к ним устройств и обслуживающих провайдеров при непрерывном росте объемов информации, вычислений и сетевой нагрузки.

Появление новых сервисов, VoIP, видеозвонков, потоковой передачи мультимедиа, стриминга высококачественного контента, развитие технологии Интернета вещей (IoT) вынуждает провайдеров перестраивать облачные инфраструктуры в соответствии с новыми требованиями клиентов. Кроме того, получение и анализ данных о трафике позволяет эффективно составлять сетевой портрет пользователя. Определение типа сетевого трафика может использоваться провайдерами ЦОД для решения различных задач:

- обнаружение атак, аномалий и обеспечение безопасности сети;
- планирование размещения и использования ресурсов;
- обеспечение высокого качества сервиса (QoS) посредством выделения приоритетного трафика и регулирования скорости передачи данных;
- балансировка нагрузки;
- оптимизации алгоритмов маршрутизации;
- регулирования цен на услуги.

Вид решаемой задачи накладывает ограничения на механизм классификации трафика. При обеспечении QoS, выявлении атак и угроз, оперативном перераспределении ресурсов требуется классификация трафика в режиме реального времени, а при решении задач, связанных со сбором статистики, получением информации об активности пользователя, выставлением счетов за услуги и перерасчётом цен классификация может проводиться после определенного периода работы сети, в режиме анализа сетевых данных.

Кроме того, в условиях ограниченных ресурсов и обработки нескольких потоков одновременно накладываются ограничения на количество используемой оперативной памяти. Используемые алгоритмы и модель классификатора должны экономно расходовать ресурсы системы при сохранении качества и скорости решения.

С точки зрения анализируемого набора классов для проведения классификации трафика можно выделить следующие задачи:

- классификация по протоколам прикладного уровня (HTTP, SMTP, SSH и т.д.).
- Обычно выбираются именно протоколы прикладного уровня, так как такая классификация является наиболее практически ценной;

- классификация по приложениям, генерирующим трафик (Zoom, Instagram, Torrent браузер и т.д.). Позволяет анализировать активность пользователя, блокировать вредоносные приложения;

- классификация по действиям пользователя (скачивание файлов, стриминг, просмотр видео и т.п.). В данном случае определяется не конкретное используемое приложение, а вид деятельности пользователя;

- классификация мобильного трафика;

- классификацию трафика передаваемого IoT устройствами. Используются специализированные протоколы и новые сценарии работы приложений, поэтому возникает дополнительный ряд задач.

Задачу классификации сетевого трафика возможно решить с помощью методов машинного обучения. Такие задачи часто рассматриваются как задачи обучения с учителем, поэтому при решении можно использовать классические алгоритмы:

- наивный байесовский классификатор. Является одним из самых простых методов машинного обучения, к его достоинствам можно отнести высокую скорость обучения и работы, однако он зачастую показывает результаты хуже, чем другие методы, поэтому его применение на практике ограничено;

- метод опорных векторов. К достоинствам метода опорных векторов можно отнести его эффективность в многомерных пространствах признаков. Однако, этот метод достаточно затратен по памяти и вычислительной сложности и может легко переобучаться, то есть подстраиваться только под параметры конкретного множества примеров, на которых он обучался;

- метод k-ближайших соседей. Данный метод не достигает высокой точности, но может применяться в сочетании с кластеризацией, для улучшения результатов выделения из трафика отдельных неизвестных классов;

- деревья принятия решений. Алгоритмы построения деревьев являются одним из самых популярных способов решения задачи классификации трафика;

- методы бэггинга. Представляют собой способы композиции нескольких более простых классификаторов в один с целью повышения стабильности и точности решения. Широко используется алгоритм случайный лес (Random Forest), заключающийся в использовании ансамбля решающих деревьев;

- методы бустинга. Способ организации классификаторов, позволяющий упорядочить и обучить более простые классификаторы таким образом, чтобы результирующий классификатор показывал лучшие результаты. Наиболее часто используемые алгоритмы – Adaboost и XGBoost;

- модели нейронных сетей [1].

Данные методы машинного обучения позволяют автоматизировать процесс создания наборов различающих характеристик классов, за счет анализа большого количества примеров этих классов. Многие из предложенных методов работают с общими признаками трафика, что решает проблемы, связанные с шифрованием и защитой персональных данных. Это даёт преимущество в скорости классификации и уменьшает необходимый для принятия решения объём памяти.

Работа выполнена при финансовой поддержке стипендии Президента РФ СП-2459.2021.5

1. Перепелкин Д.А., Иванчикова М.А. Нейросетевое прогнозирование состояния структуры программно-конфигурируемой сети // Современные технологии в науке и образовании - СТНО-2020. Сборник трудов III Международного научно-технического форума: в 10 т.. Рязань, 2020. С. 115-117.

УДК 537.521; ГРНТИ 27.35.51

АППРОКСИМАЦИЯ ПОЛЕЙ РАЗЛИЧНОЙ ФИЗИЧЕСКОЙ ПРИРОДЫ ПРИ СОЗДАНИИ СИСТЕМ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Ю.А. Юдаев

*Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева,
Российская Федерация, Рязань, yu.yudaev@mail.ru**Аннотация.* В работе рассматриваются способы аппроксимации полей различной физической природы.*Ключевые слова:* система автоматизированного проектирования, аппроксимация, электрическое поле, магнитное поле.

APPROXIMATION OF FIELDS OF DIFFERENT PHYSICAL NATURE WHEN YOU CREATE A COMPUTER-AIDED DESIGN PROJECTS

Y.A. Yudaev

*Ryazan State Agrotechnological University named after P. A. Kostychev,
Russia, Ryazan, yu.yudaev@mail.ru**The summary.* Methods of approximation of fields of different physical nature are considered in this paper.*Keywords:* computer-aided design system, approximation, electric field, magnetic field.

При создании различных САПР [1], часто возникает необходимость аппроксимации различных дискретных результатов непрерывными функциями. Конечно-разностные методы позволяют рассчитать значения потенциала электрических, магнитных, тепловых полей только в узловых точках расчетной сетки. Во многих случаях возникает необходимость иметь значение функции в любой точке области моделирования. Уменьшение шага расчетной сетки приводит к увеличению количества вычислений и не решает проблему. Вычислить значение искомой функции в любой точке расчетной области можно с помощью аппроксимации.

Пусть в расчетной области

$$S = \{(z, r) | z_{\min} \leq z \leq z_{\max}, r_{\min} \leq r \leq r_{\max}\} \quad (1)$$

создана сетка $w = w_z \times w_r$. Выбор пространственного шага обсуждается в [2]. Рассмотрим задачу на примере аппроксимации пространственного распределения потенциал. Пусть значения потенциала $U_{i,j}$, $i = 0, 1, \dots, m$, $j = 0, 1, \dots, n$ во всех узлах расчетной области определены. В этом случае для всех ячеек разбиения:

$$S_{i,j} = \{(z, r) | z_i \leq z \leq z_{i+1}, r_j \leq r \leq r_{j+1}\}, \\ i = 0, 1, \dots, m-1, j = 0, 1, \dots, n-1 \quad (2)$$

представим распределения потенциала в виде квадратичной полиномиальной зависимости

$$F_{i,j}(z, r) = a_1^{(i,j)} z^2 + a_2^{(i,j)} r^2 + a_3^{(i,j)} rz + a_4^{(i,j)} z + a_5^{(i,j)} r + a_6^{(i,j)}. \quad (3)$$

При этом распределение потенциала в расчетной области S примет вид

$$U(z, r) = \sum_{i=0}^{m-1} \sum_{j=0}^{n-1} U_{i,j}(z, r), \quad (4)$$

$$\text{где } U_{i,j}(z,r) = \begin{cases} F_{i,j}(z,r), & \text{при } z \in [z_i, z_{i+1}], r \in [r_j, r_{j+1}] \\ 0, & \text{при } z \notin [z_i, z_{i+1}], r \notin [r_j, r_{j+1}] \end{cases}.$$

Для вычисления функции $U_{i,j}(z,r)$ следует вычислить коэффициенты полинома $a_k^{(i,j)}$, $k=1, 2, \dots, 6$. Так как в ячейке разбиения $S_{i,j}$ значения потенциала известны лишь в четырех узлах, то для определения шести полиномиальных коэффициентов (3) необходимо задать два дополнительных условия.

Рассмотрим два вида дополнительных условий.

Пусть $a_1^{(i,j)} = 0$ и $a_2^{(i,j)} = 0$. В этом случае для вычисления оставшихся коэффициентов следует решить систему уравнения:

$$\begin{cases} a_3^{(i,j)} z_i r_j + a_4^{(i,j)} z_i + a_5^{(i,j)} r_j + a_6^{(i,j)} = U_{i,j} \\ a_3^{(i,j)} z_{i+1} r_j + a_4^{(i,j)} z_{i+1} + a_5^{(i,j)} r_j + a_6^{(i,j)} = U_{i+1,j} \\ a_3^{(i,j)} z_i r_{j+1} + a_4^{(i,j)} z_i + a_5^{(i,j)} r_{j+1} + a_6^{(i,j)} = U_{i,j+1} \\ a_3^{(i,j)} z_{i+1} r_{j+1} + a_4^{(i,j)} z_{i+1} + a_5^{(i,j)} r_{j+1} + a_6^{(i,j)} = U_{i+1,j+1} \end{cases}. \quad (5)$$

Используя метод Гаусса, решение системы алгебраических линейных уравнений (5) относительно коэффициентов $a_k^{(i,j)}$, $k=3, \dots, 6$ можно получить в виде

$$\begin{aligned} a_3^{(i,j)} &= \frac{U_{i+1,j+1} - U_{i,j+1} - U_{i+1,j} + U_{i,j}}{hz_i hr_j}, \quad a_4^{(i,j)} = \frac{U_{i+1,j} - U_{i,j}}{hz_i} - a_3^{(i,j)} r_j, \\ a_5^{(i,j)} &= \frac{U_{i,j+1} - U_{i,j}}{hr_j} - a_3^{(i,j)} z_i, \quad a_6^{(i,j)} = U_{i,j} - a_3^{(i,j)} z_i r_j - a_4^{(i,j)} z_i - a_5^{(i,j)} r_j. \end{aligned} \quad (6)$$

Если в качестве второго дополнительного вида условий принять $a_4^{(i,j)} = 0$ и $a_5^{(i,j)} = 0$, то для определения оставшихся коэффициентов необходимо будет решить систему алгебраических уравнения вида

$$\begin{cases} a_1^{(i,j)} z_i^2 + a_2^{(i,j)} r_j^2 + a_3^{(i,j)} z_i r_j + a_6^{(i,j)} = U_{i,j} \\ a_1^{(i,j)} z_{i+1}^2 + a_2^{(i,j)} r_j^2 + a_3^{(i,j)} z_{i+1} r_j + a_6^{(i,j)} = U_{i+1,j} \\ a_1^{(i,j)} z_i^2 + a_2^{(i,j)} r_{j+1}^2 + a_3^{(i,j)} z_i r_{j+1} + a_6^{(i,j)} = U_{i,j+1} \\ a_1^{(i,j)} z_{i+1}^2 + a_2^{(i,j)} r_{j+1}^2 + a_3^{(i,j)} z_{i+1} r_{j+1} + a_6^{(i,j)} = U_{i+1,j+1} \end{cases}. \quad (7)$$

Аналогично решается система (7) относительно коэффициентов $a_k^{(i,j)}$, $k=1, 2, 3, 6$:

$$\begin{aligned} a_3^{(i,j)} &= \frac{U_{i+1,j+1} - U_{i,j+1} - U_{i+1,j} + U_{i,j}}{hz_i hr_j}, \quad a_1^{(i,j)} = \frac{U_{i+1,j} - U_{i,j} - a_3^{(i,j)} r_j hz_i}{hz_i (hz_i + 2z_i)}, \\ a_2^{(i,j)} &= \frac{U_{i,j+1} - U_{i,j} - a_3^{(i,j)} z_i hr_j}{hr_j (hr_j + 2r_j)}, \quad a_6^{(i,j)} = U_{i,j} - a_3^{(i,j)} z_i r_j - a_1^{(i,j)} z_i^2 - a_5^{(i,j)} r_j^2. \end{aligned} \quad (8)$$

Полученная функция $U(z,r)$ определяется выражением (4), когда коэффициенты полинома (3) определяются выражениями (6) или (8) при выполнении условий:

* в расчетной области $U(z,r)$ непрерывна и принадлежит к классу функций $C^0(S)$;

- * в любой ячейке $S_{i,j}$ функция $U(z, r)$ непрерывно дифференцируема во всей области моделирования;
- * на границах ячеек разбиения $S_{i,j}$ первая частная производная имеет разрыв первого рода;
- * во всех узлах расчетной области выполняется условие:

$$U(z_i, r_j) = U_{i,j}, \quad i = 0, 1, \dots, m, \quad j = 0, 1, \dots, n;$$

- * увеличение количества точек разбиения приводит к тому, что функция $U(z, r)$ приближается к истинному значению.

Очевидно, что функция будет с малой погрешностью аппроксимации только тогда, когда истинная функция будет приближаться к интерполяционному полиному (3) с найденными коэффициентами, вычисленными с помощью выражений (6) и (8).

Одним из способов увеличения точности аппроксимации является использование интерполяционных сплайнов, который в любой ячейке определяется формулой

$$S_{i,j}(z, r) = \mathbf{a}_z \mathbf{W} \mathbf{b}_r^T, \quad (9)$$

где $\mathbf{a}_z$ и $\mathbf{b}_r$ – матрицы–векторы, определяемые выражениями

$$\begin{aligned} \mathbf{a}_z &= (\phi_1(x) \quad \phi_2(x) \quad \phi_3(x) \quad \phi_4(x)), \\ \mathbf{b}_r &= (\phi_1(y) \quad \phi_2(y) \quad \phi_3(y) \quad \phi_4(y)), \\ x &= (z - z_i)/hz_i, \quad y = (r - r_j)/hr_j; \end{aligned} \quad (10)$$

$\mathbf{W}$ – матрица, имеющая вид

$$\mathbf{W} = \begin{pmatrix} U_{i,j} & U_{i+1,j} & \dot{U}_{i,j}^{(z)} & \dot{U}_{i+1,j}^{(z)} \\ U_{i,j+1} & U_{i+1,j+1} & \dot{U}_{i,j+1}^{(z)} & \dot{U}_{i+1,j+1}^{(z)} \\ \dot{U}_{i,j}^{(r)} & \dot{U}_{i+1,j}^{(r)} & \ddot{U}_{i,j}^{(zr)} & \ddot{U}_{i+1,j}^{(zr)} \\ \ddot{U}_{i,j+1}^{(r)} & \ddot{U}_{i+1,j+1}^{(r)} & \ddot{U}_{i,j+1}^{(zr)} & \ddot{U}_{i+1,j+1}^{(zr)} \end{pmatrix}. \quad (11)$$

Четыре вспомогательные функции ϕ_k , $k = 1, 2, 3, 4$ определяются выражениями

$$\begin{aligned} \phi_1(\xi) &= (1 - \xi)^2(1 + 2\xi), \quad \phi_2(\xi) = \xi^2(3 - 2\xi), \\ \phi_3(\xi) &= \xi(1 - \xi)^2, \quad \phi_4(\xi) = -\xi^2(1 - \xi). \end{aligned} \quad (12)$$

Рассмотрим тестовую задачу аппроксимации полей. Аппроксимация полей различной физической природы имеет одинаковые математические принципы [3-6]. Целесообразность выбора функции аппроксимации обоснуем с помощью решения аналитической задачи и сравнения ее результатов с результатами аппроксимации. Пусть имеем бесконечно длинный цилиндрический конденсатор с двумя диэлектрическими материалами, расположенными между обкладками.

Исходные данные для решения задачи: $r_1 = 1$ см, $r_2 = 2$ см, $r_3 = 3$ см, $\varepsilon_1 = 1$, $\varepsilon_2 = 2$, $U_1 = 0$ В, $U_2 = 100$ В.

Для расчета погрешности, возникшей при аппроксимации

$$S := \{(r, z) | r_{\min} \leq r \leq r_{\max}, z_{\min} \leq z \leq z_{\max}\} \quad (13)$$

примем расчетную сетку с координатами узлов

$$z_i = \frac{1}{m} i, \quad i = 0, 1, \dots, m, \quad r_j = \frac{3}{n} j, \quad j = 0, 1, \dots, n, \quad (14)$$

и вычислим значения функции в этих узлах.

С этими исходными данными построим сплайн и интерполяционный полином с коэффициентами, определяемыми выражениями (6) и (8). С помощью полученных функций вычислим значения потенциала в точках с координатами:

$$z = 0,5, \quad r_j = \frac{3}{8n} j, \quad j = 0, 1, \dots, 8n. \quad (15)$$

Проведем сравнение значения функций интерполяции и порученного аналитического решения в точках. Абсолютную погрешность определим по формуле:

$$eps(r, z) = U_a(r, z) - U_n(r, z) \quad (16)$$

где $U(z, r)$ – соответствующие интерполяционные функции, $U_a(z, r)$ – аналитическое решение.

Результаты расчетов приведены на рисунке 1 а, б. Как видно из рисунка 1, а наименьшей погрешностью аппроксимации для данной задачи обладает интерполяционный полином с коэффициентами, найденными по формулам (6). При $r > 2,4$ наименьшую погрешность имеет интерполяционный сплайн. Значительное увеличение погрешности полинома наблюдается в точках, которые лежат на границе диэлектрик - металл $r_1 = 1$ см и диэлектрик-диэлектрик $r_2 = 2$ см. Это связано с тем, что именно в данных точках наблюдается разрыв первого рода функции. На основании этого следует, что в областях, где происходит разрыв значения напряженности электрического поля, интерполяционная функция (сплайн) дает колебательное решение. В этих случаях применение аппроксимации полиномом, обладающей более точным и устойчивым решением и является наилучшим.

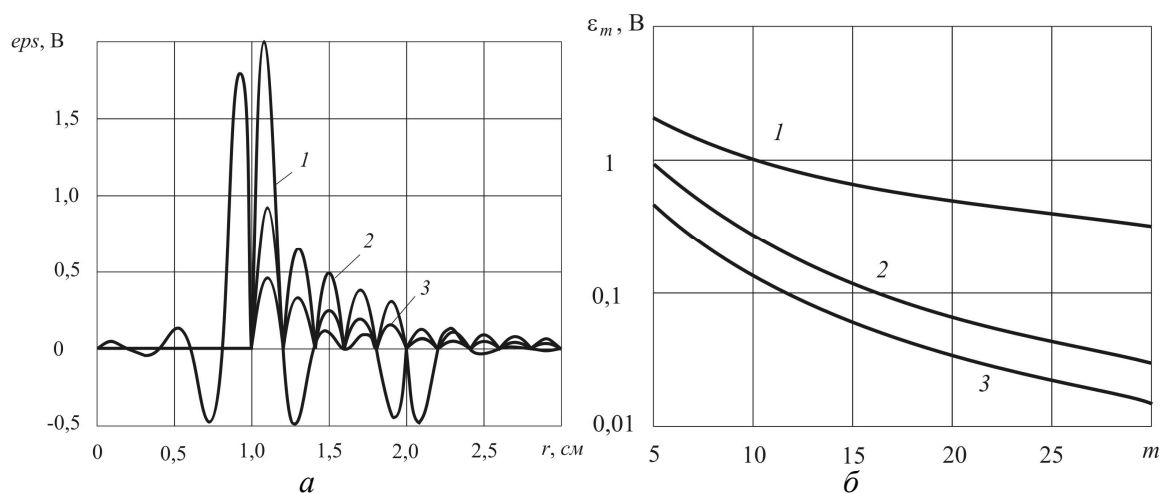


Рис. 1. Распределение абсолютной погрешности аппроксимации по радиусу конденсатора (а) и максимального значения модуля абсолютной погрешности аппроксимации от числа отрезков разбиения расчетной области (б):

1 - интерполяционный сплайн; 2 - интерполяционный полином, $a_4^{(i,j)} = 0$ и $a_5^{(i,j)} = 0$; 3 - интерполяционный полином, $a_1^{(i,j)} = 0$ и $a_2^{(i,j)} = 0$

При моделировании полей различной физической природы численными методами, в различных средах со сложными граничными условиями использование аппроксимации полиномом является более точной. Погрешность полиномиальной аппроксимации достаточно мала для расчета реальных процессов [7-15] при приемлемом числе точек разбиения расчетной области. Для аппроксимации можно использовать аппроксимирующую функцию (4), которая является устойчивой при получении численных значений в любой точке пространства.

Библиографический список

1. Корячко, В. П. Теоретические основы САПР [Текст]/ В. П. Корячко, В. М. Курейчик, И. П. Норенков//Энергоатомиздат. 1987. 400 с.
2. Кожанова, Т.В Моделирование нагрева электрода в разряде [Текст]/ Ю.А. Юдаев, Т.В. Кожанова, М.Ю. Юдаев //Сб: Сеточные методы для краевых задач и приложения. Материалы Десятой Международной конференции. 2014. С. 678-682.
3. Сенин, П.В Метод моделирования процесса возникновения импульсного разряда в смесях газов[Текст]/ Ю.А. Юдаев//Известия Российской академии наук. Серия физическая. 2003. Т. 67. № 9. С. 1328-1329.
4. Арефьев, А.С. Способ увеличения плотности тока псевдоискрового разряда в приборах с холодным катодом[Текст]/ Н.П. Богданова, Ю.А. Юдаев//Известия Российской академии наук. Серия физическая. 2003. Т. 67. № 9. С. 1291-1296.
5. Анисимов, В.Ф. Динамическое напряжение пробоя в неуправляемых разрядниках [Текст]/ Ю. В. Киселев, Ю.А. Юдаев//Известия Российской академии наук. Серия физическая. 2003. Т. 67. № 9. С. 1302-1305.
6. Горохова, М.Н. Моделирование теплового процесса нанесения покрытий [Текст]/Ю.А. Юдаев, М.Л. Санникова, А.А. Горохов//Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2013. № 90. С. 397-407.
7. Юдаев, Ю.А. Механизм пробоя газоразрядных коммутаторов тока[Текст]/Ю.А. Юдаев//Известия Российской академии наук. Серия физическая. 2003. Т. 67. № 9. С. 1279-1283.
8. Арефьев, А.С. Смесь газов для наполнения газоразрядных приборов [Текст]/А.С. Арефьев, Т.Н. Москвичева, П.В. Сенин, Ю.А. Юдаев//Патент на изобретение RUS № 2146405. Заявка № 98121250/09 от 23.11.1998. Оpubл. 10.03.2000.
9. Arefjev, A.S., Modelling of vacuum breakdown formation [Текст]/A.S. Arefjev, V.A. Antoshkin, Yu.A.Yudaev//Сб: International Symposium on Discharges and Electrical Insulation in Vacuum, ISDEIV 19th International Symposium on Discharges and Electrical Insulation in Vacuum (ISDEIV). Xian, China, 2000. С. 37-38.
10. Arefjev, A.S. Advanced numerical simulation of low-pressure plasma formation in two-electrode gap with cold-cathode [Текст]/A.S. Arefjev, V.A. Antoshkin, P.V. Senin, Yu.A.Yudaev// Journal De Physique. IV : JP SccS99: The 1999 International Conference on Strongly Coupled Coulomb Systems. sponsors: European Science Foundation, CEA-DAM, Centre National de la Recherche Scientifique, Direction Generale de L'Armement. Saint-Malo, France, 2000.
11. Юдаев, Ю.А.Численные исследования процесса формирования разряда в управляемых газоразрядных коммутаторах тока низкого давления [Текст]/ Ю.А. Юдаев//Известия Российской академии наук. Серия физическая. 2000. Т. 64. № 7. С. 1307.
12. Arefjev, A.S. Application of ionising waves for increasing of high speed of response of hydrogen filled thyatrons [Текст]/ A.S.Arefjev, B.D.Maloletkov, Y.A.Yudaev//Электронная обработка материалов. 1994.№ 3(177). С. 50-51.
13. Arefjev, A.S. Investigation of ionization waves for new environmental application [Текст]/ A.S. Arefjev, Y.A. Yudaev//Сб: International Symposium on Discharges and Electrical Insulation in Vacuum, ISDEIV 19th International Symposium on Discharges and Electrical Insulation in Vacuum (ISDEIV). Xian, China, 2000. С. 727-728.
14. Анисимов, В.Ф. Моделирование процесса формирования импульсного разряда в двухэлектродном промежутке с холодным катодом методом частиц[Текст]/ Н.П. Богданова, П. В. Сенин П.В., Ю.А. Юдаев Ю.А.//Известия Российской академии наук. Серия физическая. 2003. Т. 67. № 9. С. 1322-1327.
15. Модель формирования низкотемпературной плазмы в пространстве двух электродов [Текст]/ Ю.А. Юдаев//Сб: Сеточные методы для краевых задач и приложения. Материалы Десятой Международной конференции. 2014. С. 673-677.

УДК 004.94; ГРНТИ 14.35

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РАСЧЕТА КОЭФФИЦИЕНТОВ СООТВЕТСТВИЯ УРОВНЯ ОСВОЕНИЯ И СТЕПЕНИ ЗНАЧИМОСТИ КОМПЕТЕНЦИИ

М.А. Бакулева

*Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань, marina.bakuleva@gmail.com*

Аннотация. В работе приводится математическая модель расчета коэффициентов соответствия уровня освоения и степени значимости компетенции. В основу модели положена методика оценивания необходимых и достаточных коэффициентов соответствия уровня освоения компетенций на основе матрицы компетенций, представленной в профессиональном стандарте. Предлагается математический подход, позволяющий разработать алгоритм расчета весовых коэффициентов математической модели оптимального распределения кадровых ресурсов на основе компетентностного подхода и, тем самым, обеспечить ее объективность.

Ключевые слова: коэффициент соответствия уровня освоения компетенции, степень значимости компетенции, графовая модель, обучающаяся сеть.

MATHEMATICAL MODEL FOR CALCULATING COEFFICIENTS CORRESPONDENCE BETWEEN THE LEVEL OF DEVELOPMENT AND THE DEGREE OF SIGNIFICANCE COMPETENCIES

M.A. Bakuleva

*Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,
Russia, Ryazan, marina.bakuleva@gmail.com*

The summary. The paper presents a mathematical model for calculating the coefficients of compliance with the level of development and the degree of significance of competence. The model is based on the methodology for assessing the necessary and sufficient coefficients of compliance with the level of development of competencies based on the competence matrix presented in the professional standard. A mathematical approach is proposed that allows us to develop an algorithm for calculating the weight coefficients of the mathematical model of optimal distribution of human resources based on the competence approach and, thereby, to ensure its objectivity.

Keywords: the coefficient of compliance with the level of competence development, the degree of significance of the competence, the graph model, the learning network.

В основу расчета необходимых и достаточных коэффициентов соответствия уровня освоения компетенции и степени значимости компетенции для определенной вакансии положена методика оценивания необходимых и достаточных коэффициентов соответствия уровня освоения компетенций на основе матрицы компетенций, представленной в профессиональном стандарте. В статье описана математическая модель, позволяющая разработать алгоритм расчета весовых коэффициентов для обеспечения оптимального распределения кадровых ресурсов на основе компетентностного подхода. Автоматизация данного процесса позволит повысить объективность при планировании и менеджменте кадровых ресурсов на предприятии..

В ходе моделирования определяется наибольшая степени значимости компетенции для определенной вакансии, что позволяет более точно распределять кадровые ресурсы в масштабах предприятия.

Модель расчета необходимых и достаточных коэффициентов соответствия уровня освоения компетенции и степени значимости компетенции для определенной вакансии разработана подробно описана в [1-2]. В основу положена методика оценивания компетенций на основе матрицы компетенций, представленной в профессиональном стандарте высшего образования, для примера использована матрица компетенций направления подготовки 09.03.01 «Информатика и вычислительная техника».

Целью моделирования процесса расчета необходимых и достаточных коэффициентов соответствия уровня освоения компетенции и степени значимости компетенции для определенной вакансии на основе компетентностного подхода является оптимальное распределение кадровых ресурсов на предприятии ИТ сферы.

Предложенная математическая модель, построена на основе графовой модели, представлена в виде ориентированного взвешенного трехдольного графа (рисунок 1).

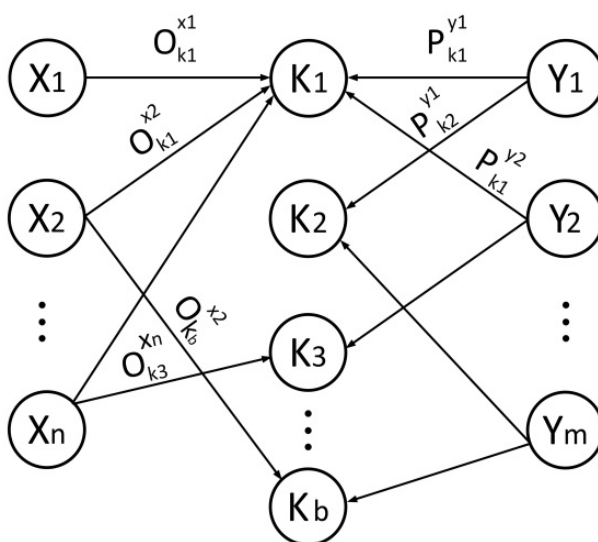


Рис. 1. Трехдольный граф, отображающий модель распределения выпускников по вакансиям на основе базового множества компетенций

В представленной модели множество $|X|_n$ - выпускники вуза, обучающиеся по определенному направлению, и согласно ООП, в рамках данного направления подготовки вырабатываются компетенции $|K|_b$. Данные компетенции находятся в тесной семантической связи с должностными требованиями, предъявляемыми к соискателю вакантной должности их множества $|Y|_m$.

Весовые коэффициенты: $O_{k_i}^x$ - уровень освоения компетенции k_i некоторого X -ого студента; вес дуги $P_{k_i}^{y_t}$ между парой вершин (y_t, k_i) имеет семантический смысл степени значимости компетенции k_i для вакансии y_t .

Заметим, что в представленной ранее работе [1-2] данные весовые коэффициенты приводились исходя из личного опыта авторов, и не имели математического обоснования.

В статье предлагается математический подход, позволяющий разработать алгоритм расчета весовых коэффициентов предложенной математической модели и тем самым обеспечить ее объективность.

Для разработки математической модели расчета весовых коэффициентов предложенную графовую модель следует рассматривать как нейронную сеть. В данном случае очевидна модель персептрона с одним входным слоем (множество $|X|_n$), одним

скрытым слоем (множество $|K|_b$) и одним выходным слоем (множество $|Y|_m$).

Заметим, что нейроны входного слоя будут связаны со всеми нейронами скрытого, так как студенты осваивали все компетенции предусмотренные ООП, в то время как в выходном слое на все связи будут сохранены, что объяснимо тем, что не все компетенции требуются для определенных должностей.

Если рассматривать ответ сети как вероятность трудоустройства студента на предложенные вакансии, то для проведения обучения на вход надо подавать не вектор значений, а одно значение, например итоговое значение среднего балла. Для получения весовых коэффициентов сети необходимо провести обучение.

$$O^{x_{k_i}} = \begin{bmatrix} x_1 & x_2 \\ k_1 & 0,5 & 0,5 \\ k_2 & 0,2 & 0,75 \\ k_3 & 0,7 & 0,6 \end{bmatrix}; P^{y_{k_i}} = \begin{bmatrix} y_1 & y_2 \\ k_1 & 0,3 & 0 \\ k_2 & 0,5 & 0,7 \\ k_3 & 0 & 0,2 \end{bmatrix}$$

Если входным значением X назначен средний балл каждого из студентов, то расчет вероятности трудоустройства на вакансии Y_1 и Y_2 будет производиться по алгоритму прямого распространения сигнала сети

Согласно алгоритму прямого распространения с сигмоидальной функцией активации вычисленные значения будут иметь вид:

Выходы $K_1=0,978332$; $K_2=0,979618$; $K_3=0,992660$

Ответ сети: $Y_1=0,62$; $Y_2=0,68$

Аналогично для второго студента вычисленные значения будут иметь вид:

Выходы: $K_1=0,91$; $K_2=0,97$; $K_3=0,94$

Ответ сети: $Y_1=0,76$; $Y_2=0,86$

На основе представленной математической модели разработан алгоритм расчета необходимых и достаточных коэффициентов соответствия уровня освоения компетенции и степени значимости компетенции для определенной вакансии. На данном этапе проводится техническая реализация алгоритма.

Исключение «человеческого фактора» из процесса установления кадрового соответствия призвано положительно повлиять на объективность принимаемых решений. Внедрение предложенного подхода в организацию менеджмента кадровой службы позволит оптимизировать процесс вертикальных и горизонтальных кадровых перемещений на предприятии.

Библиографический список

1. Авилкина С.В., Бакулева М.А., Клейносова Н.П. Математическая модель оптимизации квалификационного соответствия на предприятии // Современные технологии в науке и образовании – СТНО-2020 [текст]: сб. тр. III междунар. науч.-техн. форума: в 10 т. Т.7./ под общ. ред. О.В. Миловзорова. – Рязань: Рязан. гос. радиотехн. ун-т, 2020; Рязань. – 204 с.,: ил. , Рязань, 2020, с.197-200.
2. Авилкина С.В., Бакулева М.А., Клейносова Н.П. МОДЕЛЬ ОПТИМИЗАЦИИ ТРУДОУСТРОЙСТВА ВЫПУСКНИКОВ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ В УСЛОВИЯХ ЦИФРОВИЗАЦИИ ЭКОНОМИКИ – ИНТЕЛЛЕКТ. ИННОВАЦИИ. ИНВЕСТИЦИИ, Рязань, 2020, 23-34
3. Авилкина С.В., Бакулева М.А., Клейносова Н.П. Разработка методики оценки уровней цифровых компетенций при подготовке кадров // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Экономические науки" 2019, №2. Санкт-Петербург, 2019, С.40-51

СЕКЦИЯ «ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ И ЗАЩИТА ИНФОРМАЦИИ»

УДК 621.391; ГРНТИ 20.53.17

ЭМУЛЯЦИЯ ПРОЦЕССОРА КАК МЕТОД ПОВЫШЕНИЯ УРОВНЯ ДОВЕРИЯ К КОМПЬЮТЕРАМ

С.В. Вязигин, И.Н. Федулina, А.А. Некрасов

ТОО «Специальное конструкторско-технологическое бюро «Гранит»,
Казахстан, Алматы, innafedulina@yandex.kz

Аннотация. В работе рассматриваются методы повышения информационной защищённости материнской платы персонального компьютера, чтобы обеспечить соответствие требований стандарту СТ РК ИСО/IEC 15408-3-2017 для обеспечения высокого уровня доверия. Определены условия такой защиты. Описано решение этой задачи, осуществлённое на основе прототипа материнской платы процессора архитектуры x86 на основе микросхемы FPGA - Cyclone III EP3C16E144C7 и ряда эмулируемых программных компонентов. Созданный прототип отвечает поставленным требованиям, обладает низким энергопотреблением.

Ключевые слова: защита конфиденциальной информации, материнская плата, ПЛИС, уровень доверия, энергопотребление.

PROCESSOR EMULATION AS A METHOD FOR INCREASING CONFIDENCE IN COMPUTERS

S.V. Vyazigin, I.N. Fedulina, A.A. Nekrasov

JSC "Special Design and technology Bureau "Granite",
Kazakhstan, Almaty, innafedulina@yandex.kz

Abstract. The paper discusses methods for increasing the information security of the motherboard of a personal computer to ensure compliance with the requirements of the ST RK ISO / IEC 15408-3-2017 standard to ensure a high level of trust. The conditions for such protection are determined. A solution to this problem is described, implemented on the basis of a prototype motherboard of an x86 processor architecture based on an FPGA chip - Cyclone III EP3C16E144C7 and a number of emulated software components. The prototype created meets the requirements and has low energy consumption.

Keywords: protection of confidential information, motherboard, FPGA, trust level, power consumption.

Всё более широкое распространение электронных носителей информации и средств обработки информации в электронном виде привело к увеличению важности решения вопросов защиты конфиденциальных данных от их хищения, уничтожения или искажения [1]. Острота вопроса становится тем больше, чем больше информации переводится в электронный вид. На настоящее время практически вся конфиденциальная информация на разных этапах своего жизненного цикла проходит через средства электронной обработки, такие как компьютеры, принтеры, сканеры, электронные фотоаппараты, смартфоны и т.п. Всё чаще появляется в открытых источниках информация по внедрению специальных технических средств хищения информации в серийные изделия вычислительной техники, как аппаратные, так и программные. Поэтому появилась необходимость в создании компьютера высокой доверенности, которому пользователь, занимающийся работой с конфиденциальной информацией, мог бы доверять.

Вопрос доверия к средствам обработки информации весьма разноплановый, ведь внедрение закладного устройства может быть осуществлено на разных этапах жизненного цикла изделия, начиная с его проектирования, далее на этапах производства, инсталляции программного обеспечения, реализации и даже в период эксплуатации. Наиболее опасными являются уязвимости, которые невозможно выявить с помощью осмотров, так как техническая документация, поставляемая с изделиями, описывает только правила эксплуатации и требо-

вания по соблюдению безопасного использования. Для определения степени доверия к вычислительным средствам необходимо производить специальные сертификационные испытания по международному стандарту СТ РК ISO/IEC 15408-3-2017 [2], но на многие требования этого стандарта невозможно дать ответы, так как неизвестна архитектура самого центрального процессора.

Кроме стандарта 15408, для создания компьютера высокой доверенности необходимо обеспечить соответствие стандартам [3-7] и выполнить ряд дополнительных условий:

1) Отсутствие встроенных накопителей информации длительного хранения (жёстких дисков и т.п.), так как нормативными требованиями запрещено хранение в составе средств вычислительной техники, используемой для обработки конфиденциальной информации, съёмных носителей информации.

2) Разъёмы для подключения всех внешних устройств должны быть нестандартными, в том числе для подключения носителя информации, чтобы исключить несанкционированное подключение несертифицированных и неучтённых устройств.

3) На плате должны отсутствовать электронные компоненты для беспроводных интерфейсов с внешним оборудованием для исключения возможности удалённого перехвата информации [8].

4) Соединительные кабели должны быть экранированными для исключения перехвата информации по каналам ПЭМИН [9].

5) Образ операционной системы и прикладное программное обеспечение общего характера, поставляемого средства вычислительной техники в защищённом исполнении на загрузочном оптическом диске, должны быть также проверены на доверенность.

В связи с тем, что в Казахстане отсутствует производство процессоров и других комплектующих ПК, было принято решение о проверке возможности реализации материнской платы компьютера на базе универсальной микросхемы, программируемой логической интегральной схеме (ПЛИС, FPGA). Реализация архитектуры центрального процессора программным образом, с задаваемым программистом назначением выводов микросхемы, позволяет получить микросхему с проверяемой в соответствии с СТ РК ISO/IEC 15408-3-2017.

В результате был создан прототип материнской платы x86 совместимого компьютера (рис. 1).



Рис. 1. Материнская плата прототипа x86 компьютера

За его основу была выбрана микросхема FPGA - Cyclone III EP3C16E144C7 [10] со следующими эмулируемыми программными компонентами:

- x86 совместимый процессор на частоте 12 МГц;
- контроллер ОЗУ на 64Мбит;
- загрузчик БИОС;
- 8042 совместимый контроллер мыши и клавиатуры;
- стандартный контроллер VGA;
- 2 (два) контроллера HDD;
- 8253 совместимый программируемый таймер.

Блок схема компьютера приведена на рисунке 2.

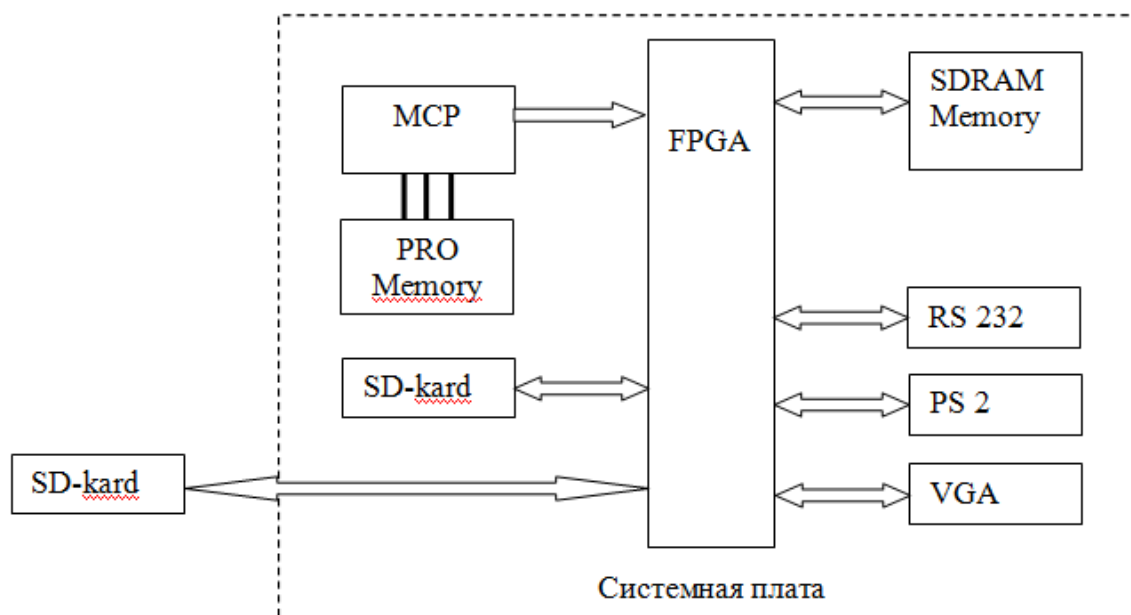


Рис. 2. Блок схема компьютера

Для системной платы были разработаны программные коды загрузчика и BIOS. Для проверки уровня доверенности программно-аппаратного комплекса была проведена процедура его сертификации на соответствие СТ РК ISO/IEC 15408-3-2017. СТ РК ISO/IEC 15408-2017 полностью идентичен ISO/IEC 15408:2008, и является его третьей редакцией, заменив вторую редакцию (ISO/IEC 15408:2005), которая подверглась технической переработке.

Стандарт включает в себя систематизированный каталог требований доверия, определяющих меры, которые должны быть приняты на всех этапах жизненного цикла продукта или системы информационной технологии для обеспечения уверенности в том, что они удовлетворяют предъявленным к ним функциональным требованиям. В стандарте содержатся оценочные уровни доверия, определяющие шкалу требований, которые позволяют с возрастающей степенью полноты и строгости оценить проектную, тестовую и эксплуатационную документацию, правильность реализации функций безопасности объекта обследования, его уязвимости, стойкость механизмов защиты и сделать заключение об уровне доверия к безопасности объекта оценки.

Часть 3 стандарта - «Требования к обеспечению защиты» определяет семь оценочных уровней доверия. Оценочные уровни доверия (ОУД) образуют возрастающую шкалу, которая позволяет соотнести получаемый уровень доверия со стоимостью и возможностью достижения этой степени доверия. Каждый последующий ОУД представляет более высокое доверие, чем любой из предыдущих. Увеличение доверия от предыдущего ОУД к последующему достигается заменой какого-либо компонента доверия иерархическим компонентом из

того же семейства доверия (т.е. увеличением строгости, области охвата и/или глубины оценки) и добавлением компонентов из других семейств доверия.

По нашему мнению, ОУД 4 позволяет разработчику достичь максимального доверия путём соблюдения надлежащих требований к безопасности на этапе проектирования, основанных на хороших коммерческих практиках разработки. ОУД 4 - самый высокий уровень, на который, вероятно, экономически целесообразно ориентироваться при оценке уже существующих продуктов.

Работоспособность компьютера, собранного на базе прототипа материнской платы в ТОО СКТБ «Гранит», была проверена с двумя операционными системами MSDOS и FreeDOS (последняя, с открытыми исходными текстами), образы которых загружались на SD карты. Для проверки было написано прикладное программное обеспечение, реализующее один из криптографических алгоритмов. Созданный прототип обладает низким энергопотреблением, которое позволяет оказаться от принудительного воздушного охлаждения (вентилятора). Ток потребления всей платы не превышает 130 мА при напряжении питания 5 В.

Библиографический список

1. Козин И.Д., Федулина И.Н. Информационная безопасность распределенных вычислений. - Алматы: АУЭС, 2014. – 80 с.
2. СТ РК ISO/IEC 15408-3-2017
3. СТ РК 34.013-2002,
4. СТ РК 1701-2007,
5. СТ РК ГОСТ Р 50739-2006,
6. СТ РК ГОСТ Р 50628-2006,
7. СТ РК 1695-2007
8. Васильев И.В., Козин И.Д., Федулина И.Н. Защита информации. - Алматы: АУЭС, 2010. – 76 с.
9. Козин И.Д., Васильев И.В., Шевченко С.Ф., Ахатаева С., Кумамбетов В.Р., Федулина И.Н., Ляшенко А., Шапель В.А.. Исследование пространственного распределения напряженности радиоволн на расстояниях меньше длины волны. // Информационные телекоммуникационные сети. №4 (18), 2005, с. 43-46.
10. Datasheet на EP3C16E144C7. Интернет источник: https://ru.mouser.com/datasheet/2/612/cyc3_ciii51001-1299430.pdf.

УДК 004.056 ГРНТИ 81.96.00

АППАРАТНЫЕ ЗАКЛАДКИ

А.С. Попов*, Д.А. Курицин, Ю.М. Кузьмин, Т.И. Калинкина**

*Рязанский государственный университет имени В. Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань, *granlum@yandex.ru, **d.krt0@yandex.ru*

Аннотация. В статье рассматриваются виды аппаратных троянов и способы их обнаружения.

Ключевые слова: аппаратный троян, троян, угроза, безопасность, нарушение безопасности.

HARDWARE TROJANS

A.S. Popov*, D.A. Kuritsin, Y.M. Kuzmin, T. I. Kalinkina**

*Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,
Russia, Ryazan, *granlum@yandex.ru, **d.krt0@ya.ru*

The summary. The article discusses the types of hardware Trojans and how to detect them.

Keywords: hardware trojan, trojan, threat, security, security breach.

В последние годы тема аппаратных троянов привлекла внимание и правительств разных стран, и производителей, и научного сообщества. Аппаратные закладки являются относительно новыми угрозами кибербезопасности, при этом они существенно расширяют возможности для атаки на информационные системы.

Создание вредоносного аппаратного обеспечения осуществляется с помощью внедрения аппаратных закладок – злонамеренных и специально замаскированных модификаций электронных устройств (иногда под аппаратной закладкой также подразумевают другое электронное устройство, скрытно подключаемое к атакуемой системе для достижения тех же целей). **Аппаратная закладка изменяет функциональность схемы, тем самым делая ее ненадежной** – она может вызвать сбой в критически важном моменте ее работы или предоставить третьей стороне доступ к конфиденциальным данным.

Несанкционированной модификации может быть подвержен любой тип ИС и, это может быть причиной, как несущественных частичных сбоев, так и полного отказа системы. Аппаратный троян может воздействовать на систему самостоятельно, а может активироваться программным обеспечением, в которое преднамеренно заложена такая возможность. Аппаратная закладка может долгое время оставаться бездействующей и активироваться через заданное время, внешним воздействием или некоторыми определенными активными процессами в работе ИС. Модификации могут быть внесены в аппаратную часть ИС как на этапе разработки, так и в процессе производства, включая такие стадии как спецификация, проектирование, верификация и изготовление.

Аппаратные закладки реализуют ряд угроз, например, таких как:

УБИ.024: Угроза изменения режимов работы аппаратных элементов компьютера.

УБИ.113: Угроза перезагрузки аппаратных и программно-аппаратных средств вычислительной техники.

УБИ.092: Угроза несанкционированного удалённого внеполосного доступа к аппаратным средствам.

Возможные атаки. Один из видов совершенно нового класса кибератак — атака на криптографические алгоритмы, впервые был представлен Али и др. [Белоус А.И., Солодуха В.А., Шведов С.В. Программные и аппаратные трояны — способы внедрения и методы противодействия. Первая техническая энциклопедия, 2018]. Эти, так называемые многоуровневые атаки, основаны на групповом взаимодействии (синхронизации действий) нескольких лиц или даже нескольких профессиональных команд злоумышленников, вовлеченных в процессе разработки микросхем и их производства.

Внедрение аппаратных троянов

Аппаратная закладка может быть встроена на любом этапе: от проектировки до установки системы у конечного пользователя. Соответственно, методы обнаружения различны и зависят от этапа, на котором были встроены изменения.

Классификация аппаратных закладок представлена на рисунке 1.

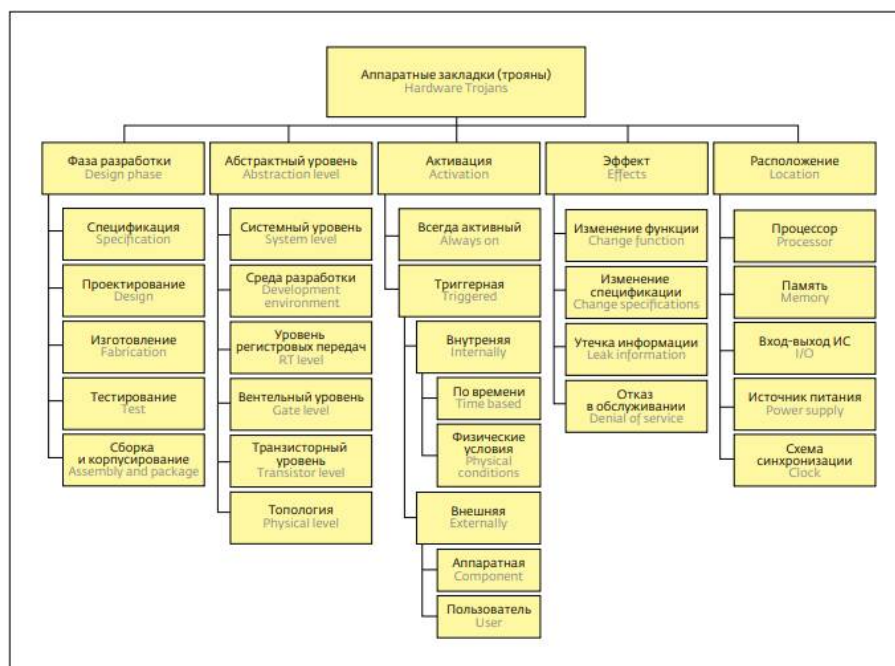


Рис. 1. Классификация аппаратных закладок

Закладки в компьютерном оборудовании как правило являются зловредным кодом, внедренным в область BIOS, который обладает следующими характеристиками [Chakraborty R.S., Narasimhan S., Bhunia S. Hardware trojan: Threats and emerging solutions. – <http://www.trust-hub.org/resources/113>, 2010]:

- 1) слабо поддается обнаружению. Может проявляться как недеklarированная возможность или дефект;
- 2) устойчив к перезагрузке или переустановке операционной системы;
- 3) не подлежит контролю согласно текущей нормативной базе в системах Минобороны и ФСТЭК. На компрометированной аппаратной платформе может выполняться сертифицированный код.

Практически все потенциальные закладки используют технологию внедрения в BIOS функционального модуля (импланта), который обеспечивает установку зловредного ПО.

Аппаратные закладки также могут являться как USB-имплантами, так и вредоносным кодом в прошивке жесткого диска. Вредоносная утечка может произойти с микросхемы посредством сторонних каналов, позволяющих выполнять извлечение конфиденциальных данных с помощью так называемой технологии распределенного спектра.

Методы обнаружения аппаратных закладок

Индивидуальное проектирование аппаратной закладки – делается попытка обойти существующие и появляющиеся по мере исследований и разработок новые методы обнаружения троянов [Chakraborty R.S., Narasimhan S., Bhunia S. Hardware trojan: Threats and emerging solutions. – <http://www.trust-hub.org/resources/113>, 2010].

Деструктивные методы обнаружения аппаратных закладок приводят к полному разрушению ИС. Полное разрушение в значительной степени ограничивает их применение. Чтобы быть уверенным, что данная ИС не содержит аппаратной закладки, ее исследуют методами обратного проектирования.

Неразрушающие методы обнаружения аппаратных закладок не приводят к нарушению целостности ИС и классифицируются на инвазивные и неинвазивные.

Инвазивные методы делятся на два класса: превентивные и вспомогательные. Вспомогательные методы используются для того, чтобы было легче обнаружить закладку в тестах после изготовления ИС. Это достигается путем использования дополнительных входов и выходов, которые добавляются к каждому модулю. Дополнительные входы обеспечивают "ключ", который переводит модуль в "прозрачный режим". В этом режиме модуль выполняет самотестирование, чтобы проверить редкие события и маловероятные состояния.

Неинвазивные методы обнаружения аппаратных закладок основаны на сравнении рабочих характеристик ИС с характеристиками заведомо исправной эталонной ИС.

Обнаружение и нейтрализация аппаратных закладок в микросхемах

Анализ сторонних каналов: рассматриваемое устройство (микросхема) изучается с точки зрения использования различных физических обходных каналов, например динамического тока питания или времени срабатывания ИС.

Метод использования специальных шинных архитектур, защищенных от троянов. Закладки, которые были внедрены в сложное аппаратное обеспечение, также могут быть обнаружены с помощью операционной системы. Блум и др. [L. Lin, W. Burleson and C. Parr. MOLES: malicious on-chip leakage enabled by side-channels, Intl. Conf, on Computer-Aided Design, 2009] предлагают подход, при котором простая система безопасности аппаратного обеспечения отслеживает доступ от ЦП к шине данных памяти и отслеживает подозрительную активность.

Метод анализа по сторонним каналам. Потребление мощности конкретным фрагментом одной информационной системы сравнивается с потреблением мощности такого же фрагмента другой подобной информационной системы. Причиной обнаруженной разницы в уровнях величин потребления мощности может быть троян. [C. Lamech, R.M. Rad, M. Tehranipoor, J. Plusquellic. An experimental analysis of power and delay signal-to-noise requirements for detecting Trojans and methods for achieving the required detection sensitivities, IEEE Tran, on Information Forensics and Security, Sept. 2011]

Применение дополнительной цепи сканирования для локализации трояна в микросхеме. Подход предполагает использование оригинального технического решения в части расположения цепей сканирования по всей площади микросхемы, благодаря чему конкретные зоны кристалла могут быть специально активированы (или деактивированы) в процессе функциональных испытаний. Это должно привести к обнаружению признаков деятельности закладки.

Метод термического кондиционирования. Термическое кондиционирование означает, что исследуемая микросхема нагревается, причем неравномерным образом. Этот метод основан на том всем известном физическом эффекте, что величина тока утечки возрастает по экспоненте вместе с ростом температуры.

Метод нейтрализации внедренных в микросхемы троянов. Авторитетные исследователи Ваксман и Сетхумадхаван в своей работе представляют подход, позволяющий нейтрализовать влияние внедренных закладок за счет предотвращения возникновения условий срабатывания цифровых так называемых детерминированных триггеров, которые могут использоваться при создании троянов. Идея заключается в том, что данные шифруются и скрываются контролируемым образом, благодаря чему триггер закладки не может обнаружить запрограммированное злоумышленником условие срабатывания, следовательно, активация закладки никогда не произойдет.

Использование кольцевых генераторов для обнаружения троянов. Принцип обнаружения основан на том, что на частоту кольцевого генератора влияют физические параметры.

Соответственно, частота работы генератора также зависит от напряжения питания VDD. Если значение VDD падает, задержка распространения элементов увеличивается. Это, в свою очередь, означает, что задержка всего кольцевого генератора и продолжительность (период) его цикла увеличиваются, что эквивалентно падению частоты. Падение значения VDD происходит в том случае, если элемент начинает потреблять ток.

Методы выявления аппаратных троянов с помощью анализа спектров электромагнитных излучений. Основная идея этого метода заключается в том, что ЕМ-излучения DuT без АТ должны иметь характеристики, подобные золотому эталону, тогда как излучение DuT с внедренной закладкой будет менее похожим. Существует две фазы:

- фаза обучения, в которой исследователь собирает достаточное количество данных измерений ЕМ-сигналов от «золотого» прибора для того, чтобы получить характеристики для некоторых конкретных атрибутов его распределения (чтобы сформировать «золотые» отличительные характеристики);
- фаза подбора, в которой собираются результаты ЕМ-измерения микросхем и применяется статистический тест, чтобы определить, что собранные данные поступили от такого же распределения, как «золотые» характерные признаки (DuT не содержит закладки) или нет (DuT является зараженным).

Метод обнаружения аппаратных троянов в микросхемах на основе анализа спектра электромагнитного излучения. В этом методе исследователи не вскрывали корпус DuT, но наконечник пробника все-таки немного касался корпуса. Еще более близкое размещение к кристаллу будет обеспечивать даже лучший сигнал, но это может потребовать вскрытия корпуса, что будет делать этот метод гораздо менее практичным. Далее сигнал, измеренный пробником, усиливается, захватывается цифровым стробирующим осциллографом и затем передается на контролирующий ПК для последующего анализа.

Библиографический список

1. Chakraborty R.S., Narasimhan S., Bhunia S. Hardware trojan: Threats and emerging solutions. – <http://www.trust-hub.org/resources/113>, 2010
2. Белоус А.И., Солодуха В.А., Шведов С.В. Программные и аппаратные трояны — способы внедрения и методы противодействия. Первая техническая энциклопедия, 2018.
3. L. Lin, W. Burleson and C. Parr. MOLES: malicious on-chip leakage enabled by sidechannels, Inti. Conf, on Computer-Aided Design, 2009.
4. C. Lamech, R.M. Rad, M. Tehranipoor, J. Plusquellic. An experimental analysis of power and delay signal-to-noise requirements for detecting Trojans and methods for achieving the required detection sensitivities, IEEE Tran, on Information Forensics and Security, Sept. 2011
5. J. Balasch, B. Gierlichs, I. Verbauwhede Leuven-Heverlee, Belgium, Electromagnetic Circuit Fingerprints for Hardware Trojan Detection, KU Leuven Dept. Electrical Engineering-ESAT/COSIC and iMinds Kasteelpark Arenberg 10, B-3001 Leuven-Heverlee, Belgium.

УДК 004.492.2; ГРНТИ 50.41.27

ПРЕДОТВРАЩЕНИЕ ИСКАЖЕНИЙ РАБОЧЕЙ СРЕДЫ ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ ПЕРСОНАЛЬНОГО КОМПЬЮТЕРА В ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ УЧРЕЖДЕНИЯХ

В.А. Смирнов, В.В. Иванов

*Шуйский филиал ФГБОУ ВО «Ивановский государственный университет»,
Российская Федерация, Шуя, v.a.d.i.m@bk.ru*

Аннотация. В работе рассмотрены угрозы информационной безопасности, приводящие к искажению рабочей среды пользователя персонального компьютера в образовательных учреждениях. Дан обзор средств защиты рабочей среды и предотвращения её искажения. Приведены технические и психолого-педагогические аспекты использования защитных средств.

Ключевые слова: среда прикладной системы, рабочая среда, антивирус, вредоносное ПО, антивирусная песочница, информационная безопасность.

PREVENTING DISTORTION OF THE WORKING ENVIRONMENT OF A PERSONAL COMPUTER USER IN EDUCATIONAL INSTITUTIONS

V.A. Smirnov, V.V. Ivanov

*Shuya branch of Ivanovo State University,
Russia, Shuya, v.a.d.i.m@bk.ru*

Abstract. The article deals with information security threats leading to distortion of the working environment of a personal computer user in educational institutions. An overview of the means of protecting the working environment and preventing its distortion is given. The technical and psychological-pedagogical aspects of the use of protective equipment are presented.

Keywords: application environments, working environment, antivirus, malware, antivirus sandbox, information security.

Под рабочей средой пользователя персонального компьютера, как правило, понимается совокупность параметров, определяющих интерфейс операционной системы (в том числе настройка профиля пользователя), а также наличие и настройки установленного прикладного программного обеспечения. Отметим, что установка «с нуля» операционной системы и драйверов оборудования, настройка и оптимизация ОС, а затем последующая установка и конфигурирование прикладных программ занимают обычно весьма длительное время.

Искажения рабочей среды в зависимости от конкретной ситуации могут иметь различные масштаб и проявления. До некоторого определённого «критичного» уровня искажения могут быть устранены путём исправления рабочей среды – это также достаточно трудоёмкая и квалифицированная работа. Более масштабные искажения могут потребовать создания рабочей среды заново, что очень часто оказывается осложнено забытыми паролями, не тривиальными пользовательскими настройками, потерянными лицензионными ключами и иными сходными и неприятными проблемами. С учётом сказанного сохраняет актуальность проблема защиты рабочей среды от искажений.

Для противодействия попыткам искажения рабочей среды, которые предпринимаются вредоносным программным обеспечением, обычно применяются антивирусные программы. Современные антивирусы способны анализировать поведение процессов, выполняемых в операционной системе, и блокировать те из них, которые совершают запрещённые действия.

Предметом этой статьи являются, прежде всего, компьютеры образовательных учреждений. Существенной особенностью здесь становится то, что искажения рабочей среды могут быть зачастую вызваны самим пользователем. К таким ситуациям относятся:

– учебные эксперименты обучающихся. В настоящее время становится всё более актуальной тенденция обучения через создание проектов. Такие проекты нередко нуждаются в использовании прикладного программного обеспечения для обработки аудио- и видеоматериалов, создания анкет, ментальных карт, панорамных изображений и т.д. Для удовлетво-

ния подобного функционала необходима установка стороннего – зачастую непроверенного и небезопасного – программного обеспечения. Даже если установленное приложение не окажется вредоносным, оно может отрицательно влиять на быстродействие и стабильность работы компьютера.

– некорректные действия пользователей. По невнимательности и/или по собственной неосведомленности, неосторожности обучающиеся могут, например, сбросить настройки какого-либо программного продукта, запустить и прервать процесс обновления прикладной программы и т.д.

– девиантное поведение обучающихся. Подросток может нарушить работу программы с целью развлечения, либо попытаться сорвать проведение учебного занятия.

Большинство современных антивирусов – это не только программы для анализа файлов и активности процессов в системе. В ряд антивирусов встроены такие средства, как «Родительский контроль», менеджеры резервного копирования, сохранения паролей и удаления данных, отслеживание выхода новых версий программ и проч. Но даже при таком расширенном функционале антивирусы далеко не всегда и не в полном объёме способны противостоять деструктивным действиям пользователей, что обусловлено двумя причинами: во-первых, антивирусы проектируют для противодействия скрытым и изощренным угрозам вредоносного ПО, а не для обуздания владельцев компьютеров и, во-вторых, возможностей испортить собственную рабочую среду у таких владельцев (хозяев) гораздо больше, нежели у вирусных программ, которые основную часть своего жизненного цикла – лишь гости в компьютерной системе.

Во многих образовательных организациях учителя информатики и системные администраторы создают на каждом компьютере помимо защищённой учётной записи администратора учётную запись с ограниченными правами. Такой подход снижает вероятность искажения рабочей среды, но является бесперспективным для получения всестороннего представления обучающимися о работе с персональным компьютером. По нашему мнению, исследование программ, процесса их установки и настройки, является необходимой частью обучения в области информатики. Поэтому полный запрет на подобные действия недопустим.

В настоящее время приобретает популярность решение проблемы, связанное с установкой средств «заморозки» состояния операционной системы, к которым относят, например, Shadow Defender или Deep Freeze. Данные программы используют «специализированный драйвер ядра для перехвата обращений к файловой системе и перенаправления их в случае необходимости» [1, стр. 5].

В случае, если в процессе работы происходит попытка изменить какой-либо файл, то программой создается его рабочая копия и затем все модификации происходят не с оригинальным файлом, а с созданной копией, которая будет уничтожена при перезагрузке системы. Логичным следствием этого является понижение быстродействия работы персонального компьютера в том случае, если будет изменяться слишком большое количество файлов.

Чтобы сократить размер данных, сохранённых в виртуальной копии, и тем самым обеспечивать оптимальное быстродействие персональных компьютеров, рекомендуем перезагружать операционную систему между учебными занятиями. При таком подходе на каждом уроке обучающийся будет работать со стандартно настроенной операционной системой, без истории посещений, сессий и файлов предыдущего пользователя.

Перечисленные программы являются платными, однако в настоящее время существуют и их бесплатные аналоги, например, ToolWiz Time Freeze или Reboot Restore Rx.

Важно учитывать, что при использовании таких программ необходимо провести инструктаж как с сотрудниками образовательного учреждения, так и с обучающимися. В частности, пользователи ПК должны:

- знать о необходимости сохранять свои файлы в определённую папку, внесённую в список исключений вышеуказанных программ «заморозки»;
- иметь внешнее запоминающее устройство для хранения своих файлов, либо уметь использовать облачные хранилища информации (например, Яндекс.Диск или Облако@Mail.ru).

Но, несмотря на особенности, связанные с удалением сохранённой информации, важно учитывать, что обучающиеся должны относиться к школьному компьютеру так же, как и к любому чужому информационному устройству. Например, не сохранять логины и пароли в браузерах. Привыкнув к безопасности школьного компьютера, обучающийся может перестать соблюдать правила безопасности и на других устройствах.

Кроме того, в рамках курса информатики следует знакомить школьников с возможностью создания изолированных сред для запуска недоверенных программ с использованием так называемых «песочниц» (англоязычный термин «sandbox») [2]. Недоверенные программы, которые не приносили вреда в школьном кабинете, где компьютеры оснащены программными «песочницами», не должны запускаться без предосторожностей на незащищённом домашнем компьютере.

В случае, если вышеобозначенные меры для обеспечения сохранности рабочей среды пользователя не применялись, может возникнуть необходимость восстановления её нормальной работы. В отдельных случаях для этого системный администратор или учитель информатики может применить средства Live CD [3] – это класс операционных систем, которые загружаются со сменного носителя (CD, DVD, USB-накопитель и т. д.) и не требуют для своего функционирования установки на HDD/SSD. В открытом доступе размещены разнообразные сборки Live CD, содержащие помимо собственно автономной ОС комплекс «ремонтного» ПО: программы для анализа жестких дисков, антивирусной проверки файлов, восстановления потерянных данных и т.д.

Интересным и продуктивным вариантом является создание Live CD специально для занятий по какому-либо учебному курсу [4]. В этом случае в состав системы входят не служебные или защитные утилиты, а прикладные программы учебного назначения, необходимые для изучения того или иного курса.

Кроме того, наблюдается тенденция к созданию образов виртуальной машины [5] для обучения со всем необходимым программным обеспечением. Такой образ представлен в виде унитарного файла, и поэтому его копирование для развёртывания выполняется элементарно. Для реализации этого подхода можно использовать открытое программное обеспечение Oracle VirtualBox. Недостатками такого подхода являются более высокие требования к аппаратному обеспечению (компьютер должен обеспечивать функционирование с приемлемым быстродействием и хостовой, и гостевой операционных систем одновременно). Кроме того, графические возможности (в том числе работа с приложениями трехмерной графики) в виртуальной машине существенно снижены.

Таким образом, в нашем исследовании были отмечены специфические особенности предотвращения искажений рабочей среды пользователя на компьютерах в образовательном учреждении, которые присущи также таким общественным местам как интернет-кафе, гостиница и др. Данные особенности обуславливают недостаточность применения исключительно антивирусного программного обеспечения. В зависимости от ситуации учителю информатики или системному администратору стоит рассматривать варианты использования Live CD, образов виртуальной машины или программ для «заморозки» состояния системы. На основании опыта работы в образовательных организациях отметим, что именно последний вариант является оптимальным: с одной стороны, – достаточным для предотвращения искажений рабочей среды пользователя и, с другой, – наименее время- и трудозатратным в ходе практической реализации.

Библиографический список

1. Силаков Д. Используем AUFS для отката изменений. Автоматический возврат системы после перезагрузки // Системный администратор. 2014. №10 (143). С. 4-7.
2. Чертыкова К.А., Хохряков К.А., Стукалина Е.Ф. Изолированная виртуальная среда для выявления вредоносного ПО // Информационные технологии в науке, промышленности и образовании. Сборник трудов Всероссийской научно-технической конференции. Отв. ред. К.Ю. Петухов. – Ижевск, 2020. – С. 199-205.
3. Ефименко В.С., Миронов С.Ю. Об использовании Live CD // Компетентностный подход: инновационная практика образовательных организаций в реализации ФГОС. Сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции. Под редакцией М.А. Сморгуновой, С.Л. Коротковой. – Саратов, 2016. – С. 204-205.
4. Панюкова А.А., Панюкова Т.А., Дударева В.И. Информатика на каникулах: техническое, программное и методическое обеспечение занятий по компьютерной графике в летней школе // Информационные технологии и системы. Труды Третьей международной научной конференции. Отв. ред.: Ю.С. Попков, А.В. Мельников. – Челябинск, 2014. – С. 167-170.
5. Копбалина С.С. Возможности использования виртуальных машин в процессе обучения // Горизонты и риски развития образования в условиях системных изменений и цифровизации. Сборник научных трудов XII Международной научно-практической конференции в 2-ух частях – Караганда, 2020. – С. 392-395.

УДК 004.056 ГРНТИ 81.96.00.

ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ И ЗАЩИТА ИНФОРМАЦИИ

А.А. Панов, И.И. Скоробогатов

Академия ФСО России,

Российская Федерация, Орел, Tanya-mtm@yandex.ru

Аннотация. В данной работе вводится определение информации и информационной системы, рассматриваются способы атак на различные системы, а также приводятся преимущества информационных систем.

Ключевые слова: информационная безопасность, информационная система, информация, активная атака, пассивная атака.

INFORMATION SYSTEM AND DATA PROTECTION

A.A. Panov, I.I. Skorobogatov

Federal Guard Service Academy of Russia,

Orel, Tanya-mtm@yandex.ru

The summary. This paper introduces the definition of information and information system, examines the methods of attacks on various systems, and also provides the advantages of information systems.

Keywords: information security, information system, information, active attack, passive attack.

Информационная система (ИС) – это комплекс средств, необходимых для сохранности, обработки и предоставления информации.

Структура ИС представляет совокупность различных частей, которые называются подсистемами. Подсистемой является часть системы, выделенная по какому-либо признаку.

Обобщённую структуру ИС можно рассматривать, как совокупность подсистем в независимости от области её применения. В конечном итоге, структура любой ИС представляет совокупность подсистем.

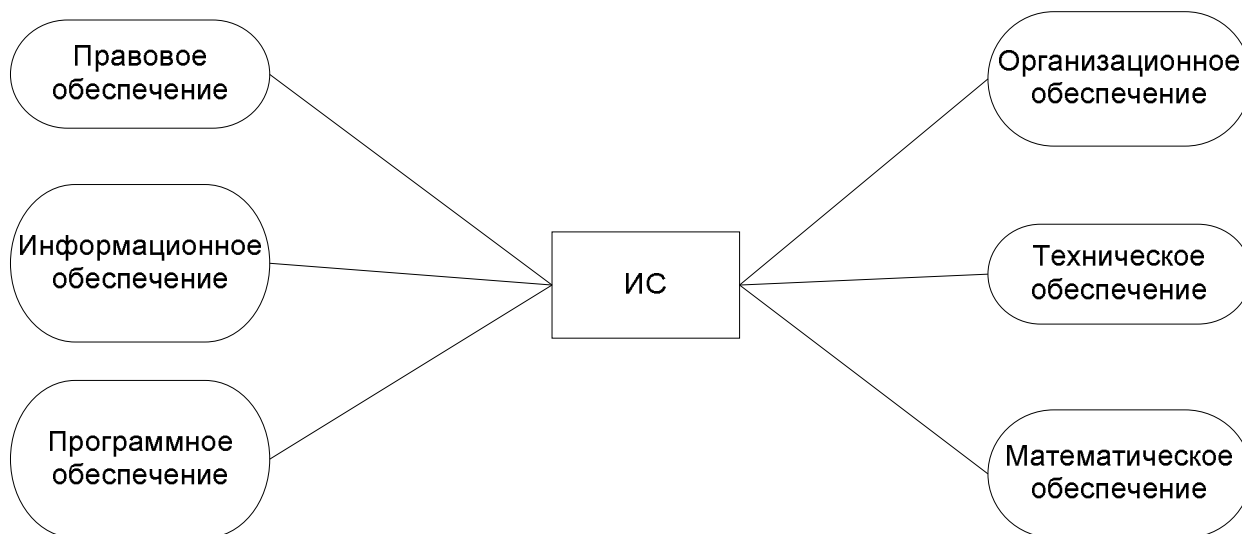


Рис. 1. Структура информационной системы как совокупность обеспечивающих подсистем

Плюсы ИС

- Упрощённый доступ к необходимым сведениям.
- Улучшение коммуникации.
- Повышенная производительность труда.
- Улучшенная и облегчённая обработка данных.

ИС, как здание, в независимости от того, что оно виртуальное, также нуждается в защите. Устройства физической безопасности (УФБ) это средства, благодаря которым может быть организована защита ИС. Разница в том, что для защиты ИС, необходимо использовать УФБ разработанные с учетом информационных технологий. Так, например, простой турникет или сотрудник охранного предприятия сравним с системой аутентификации, использующейся для входа в определённую ИС.

Информация — данные независимые от формы представления. Такой термин сильно распространён, поэтому понятие информация является одним из самых обсуждаемых и неоднозначных терминов в науке.

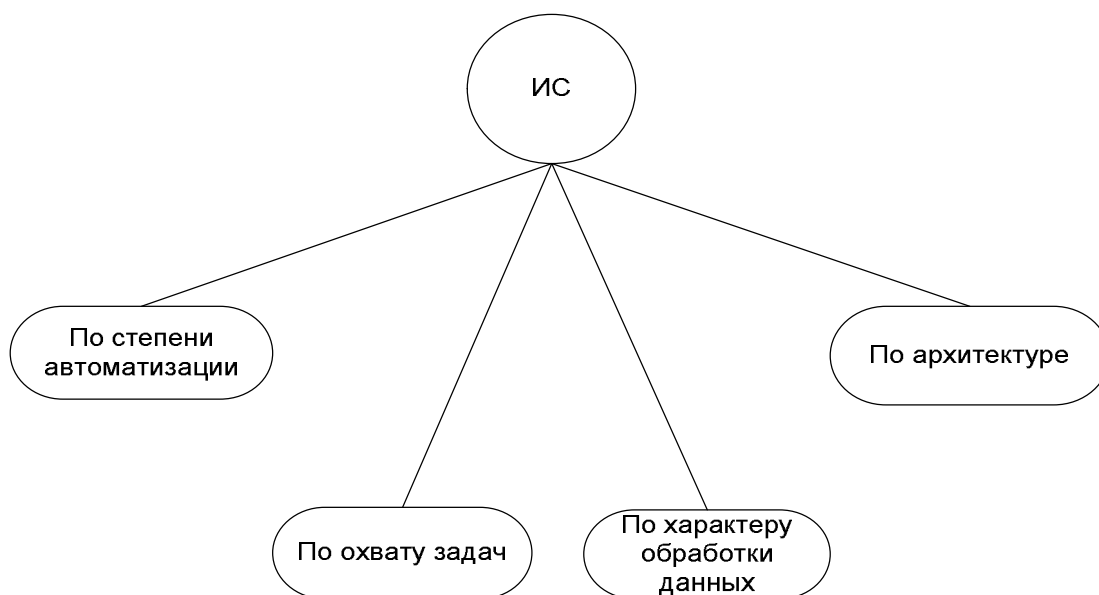


Рис. 2. Классификация ИС

В последнее время требования, предъявляемые к информационной безопасности (ИБ), заметно выросли. С появлением персональных компьютеров и ЭВМ возникла нужда в использовании автоматических средств защиты информации. В дальнейшем стали появляться системы обработки данных и компьютерные сети, появляется необходимость защищать не только хранящиеся данные и установленное программное обеспечение, но и данные, которые передаются при помощи компьютерных сетей.

Под безопасностью ИС подразумевается защита от несанкционированного доступа или изменения информации во время хранения, обработки, рассылки.

Сетевые атаки

Во время сетевого взаимодействия существует информационный поток между отправителем и получателем. Многочисленные компьютерные атаки нарушают лишь некоторые параметры в безопасности системы, зависит от квалификации злоумышленника.

Атаки могут преследовать различные цели:

- Мониторинг, передаваемых сообщений;
- Остановка различных компонентов системы;
- получение доступа к закрытой информации;
- DoS – атаки (Denial of Service) и др.

Однако, несмотря на разновидности атак охарактеризовать их можно, как активные и пассивные.

Атака на информационную систему — это комплекс умышленных действий, правонарушителя направленные на повреждение (срыв) одного из трех свойств информации — доступности, целостности или конфиденциальности. Стандартная модель атаки происходит по принципу "один к одному" (рис. 3) или "один ко многим" (рис. 4), соответственно атака исходит от одного источника [1]. Также атаки подразделяются на активные и пассивные.

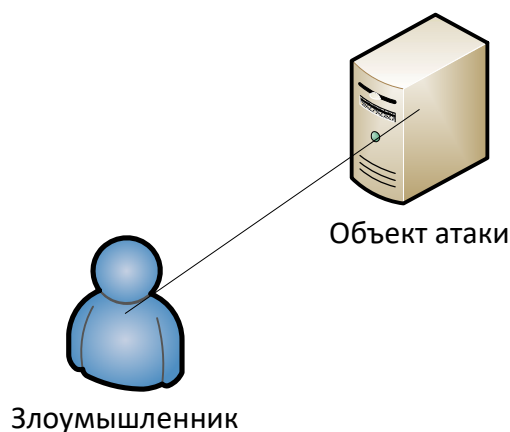


Рис 3. Отношение один к одному

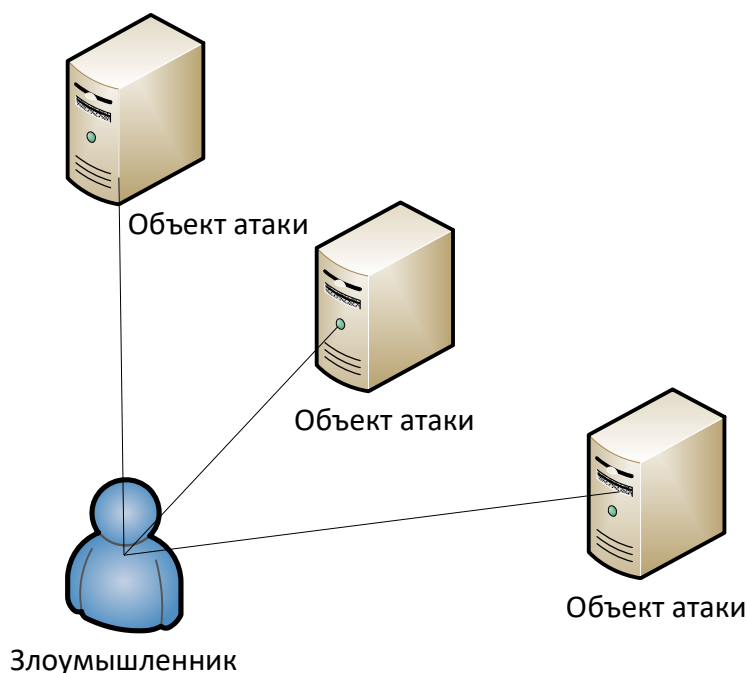


Рис 4. Отношение один ко многим

Активные атаки. Активная атака пытается изменить системные ресурсы или повлиять на их работу. Активная атака подразумевает некоторую модификацию потока данных или создание ложного утверждения. Активные атаки изменяют данные или повреждают систему. Атаки, которые угрожают целостности или готовности, — активные. Активные атаки обычно легче обнаруживаются, чем предотвращаются, потому что злоумышленник может начинать их разнообразными методами.

Пассивные атаки. Пассивная атака пытается узнать или использовать информацию из системы, но не влияет на системные ресурсы. Пассивные атаки имеют характер подслушивания или мониторинга передачи. Целью противника является получение передаваемой информации. При пассивном нападении цель атакующего состоит в том, чтобы только получить информацию. Это означает, что нападение не изменяет данные и не повреждает систему. Система продолжает нормально работать. Однако атака может нанести вред передатчику или приемнику сообщения. Атаки, которые угрожают конфиденциальности — вмешательство и наблюдение за трафиком плюс его анализ, — являются пассивными. Раскрытие информации может вредить передатчику или приемнику сообщения, но систему не затрагивает. По этой причине трудно обнаружить этот тип нападения, пока передатчик или приемник не узнают об утечке конфиденциальной информации. Пассивные нападения, однако, могут быть предотвращены шифрованием данных.

Основой безопасной (Information Technology) IT-инфраструктуры являются:

- конфиденциальность;
- доступность;
- целостность.

Главная цель информационной безопасности заключается в обеспечении защиты сервисов, представленных выше.

Конфиденциальность — гарантия того, что необходимая информация, может быть прочитана только теми людьми, которые имеют право на это, то есть авторизированы для этого.

Доступность – состояние информации, при котором авторизованные пользователи, могут реализовывать их беспрепятственно.

Целостность – гарантия того, что информация является неизменной, корректной и аутентичной.

Важно учитывать, что программные инструменты нуждаются в мощных аппаратных устройствах. Поэтому перед их установкой в компании требуется предусмотреть наличие дополнительных резервов. Таким образом, обеспечение безопасности информационных материалов – это целый комплекс мероприятий, не единовременная мера, а непрерывный процесс. Разработка системы защиты должна проводиться одновременно с проектированием защищаемой системы.

1. Лапони́на, О.Р. Основы сетевой безопасности. Часть 1./ О.Р. Лапони́на – Москва.: Национальный Открытый Университет «ИНТУИТ», 2014. – 378 с.

УДК 004.056; ГРНТИ 81.96.00

ИССЛЕДОВАНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ И ПОТЕНЦИАЛЬНЫХ УГРОЗ БЕЗОПАСНОСТИ ИНФОРМАЦИИ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ПРОГРАММНО-АППАРАТНОГО СРЕДСТВА FLIPPER ZERO

В.И. Амосов, Д.А. Зубков, В.И. Хломко

*Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань, vlad.khlomko@yandex.ru*

Аннотация. В работе рассматривается мультитул Flipper Zero, позиционируемый как портативное носимое устройство для тестирования безопасности IoT и систем контроля и управления доступом, а также опасность массовой эксплуатации уязвимостей названных систем с его помощью.

Ключевые слова: Flipper Zero, пентест, СКУД, программно-аппаратные средства, аппаратная ИБ, беспроводные технологии.

STUDY OF FUNCTIONAL FEATURES AND POTENTIAL THREATS TO INFORMATION SECURITY WHEN USING FLIPPER ZERO SOFTWARE AND HARDWARE

V.I. Amosov, D.A. Zubkov, V.I. Khlomko

*Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,
Russia, Ryazan, vlad.khlomko@yandex.ru*

The summary. The work considers the Flipper Zero multitool, positioned as a compact wearable device for testing IoT security and access control systems, as well as the danger of mass exploitation of vulnerabilities of these systems with its help.

Keywords: Flipper Zero, penetration test, access control, software and hardware, information security hardware, wireless technologies.

Стремительная информатизация и компьютеризация современного общества приобретают все больший размах. Информационные технологии активно занимают новые области человеческой практики, трансформируя при этом человеческую деятельность, оказывая при этом влияние на все психические процессы.

Последствиями столь стремительного технического прогресса привело к появлению совершенно нового вида преступлений – хакерства. Ранее хакером называли высококлассного специалиста, творчески подходящего к решению сложных и весьма запутанных компьютерных задач, способный быстро исправлять даже самые сложные ошибки, порою используя

для этого нетрадиционные методы. Однако вместе с техническим прогрессом и активным изменением информационных технологий, изменилось и значение слова «хакер». Из профессионального специалиста термин деградировал в пренебрегающего закон фрилансера, для которого зачастую понятие «взлом ради взлома» становится чуть ли не смыслом жизни.

Все больше масла в огонь начали подливать современные изобретатели, изучающие международные торговые площадки на наличие технологий, позволяющих в домашних условиях воссоздать хоть и кустарные, но все же рабочие аналоги профессиональных технических устройств. Подобных самоучек порою не останавливает даже осознание того, что их домашние наработки противоречат законам государства, на территории которого они проживают. Следует обратить внимание на то, что в последние несколько лет возросла популярность микроконтроллеров Arduino, Raspberry Pi, ESP и часть из них используется совсем не в лучших целях. Предприниматели, реагируя на наличие спроса, тоже решили не оставаться в стороне и заручившись поддержкой специалистов по защите информации, начали производить свои «сборки» на базе данных микроконтроллеров, старательно рекламируя их в сети Интернет и создавая краундфайндинговые компании для сбора средств на изготовление. Примером такого устройства может служить Flipper One и Flipper Zero, о которых и пойдет речь в данной научной статье. Ведь выпуск и свободное распространение подобного технического устройства может привести к глобальным последствиям.

Возможности Flipper Zero&One и опасности, связанные с его применением

Основной целью исследования в данной научной статье выступает анонсированный 3 декабря 2019 года техническим специалистом Павлом Жовнером на онлайн ресурсе Хабр карманный мультитул Flipper Zero [1].

Изначально позиционируемое как карманный прибор для пентеста IoT и беспроводных систем контроля доступа, Flipper представлял из себя техническое устройство небольших размеров, представляемое разработчиком как развлекательное устройство со следующим описанным функционалом:

- трансмиттер на частоте 433 МГц, предназначенный для исследования радиопультов, электронных замков и других устройств, использующих радиointерфейс;
- встроенная система беспроводной передачи данных малого радиуса действия NFC для считывания и записи, а также эмуляции низкочастотных карт и меток;
- многофункциональное микроэлектронное устройство iButton, предназначенное для записи, считывания и эмуляции контактных ключей, работающих по протоколу 1-Wire;
- технология беспроводной локальной сети с устройствами, основывающимися на стандарте IEEE 802.11 – Wi-Fi, используемый для проверки защищенности беспроводных сетей. Причем встроенный адаптер поддерживает инъекции пакетов и мониторный режим (отсутствует в модели Zero);
- открытый стандарт беспроводной связи Bluetooth 5.0, LE, эксплуатируемый для поддержки пакета bluez используемый ОС Linux.
- Bad USB, позволяющий подключать данное устройство как USB-slave и эмулировать клавиатуру, Ethernet-адаптер и другие устройства, для инъекции кода или сетевого пентеста.

Нельзя сказать, что данное устройство на момент анонса было первым и неповторимым в своем роде. Стоит вспомнить тот же Pwnagotchi, перехватывающий WPA-хендшейки, и PMKID от Wi-Fi сетей, в дальнейшем используемый для проведения атак различного вида.

Однако, разработка Flipper Zero и его более мощная версия – Flipper One, дополнительно оснащенная встроенной microSD картой памяти с предустановленной ОС Kali Linux, должны стать своего рода прорывом в области пентеста и защиты информации, за счет своей

многофункциональности, универсальности, портативности и относительно небольшой стоимости по рынку.

Интернет-сообщество, достаточно быстро распространившее информацию о создании подобного проекта, пришло в восторг от вырисовывающихся возможностей. Вот только практика показывает, что заказавших ее для работы специалистов может оказаться в несколько раз меньше тех, кто не пожалел потратить примерно 9 тысяч рублей на дорогую игрушку позволяющую считывать и перезаписывать информацию с пропусков, атаковать Wi-Fi сети, дистанционно активировать автоматизированные двери, ворота, шлагбаумы с дистанционным управлением.

Рассмотрим более подробно доступные Flipper Zero и Flipper One функциональные возможности, а также существующие методы противодействия, чтобы выяснить, насколько современное общество и предприятия готовы грядущему появлению большого количества малоквалифицированных «хакеров», появляющихся в общественных местах с многофункциональным техническим средством, выпущенным в массы.

1) как описывается самим изобретателем, Flipper оснащен встроенной антенной на 433 MHz и чипом CC1101, что позволяет ему работать в диапазоне частот до 1 ГГц. Подобная модификация позволяет Flipper перехватывать и анализировать сигналы радиопультов, брелков, автоматизированных замков умных розеток, параллельно с этим, за счет библиотеки rfcats, декодируя, сохраняя и воспроизводя популярные коды пультов, как и любой анализатор пультов дистанционного управления.

Полагаем, и без большого количества профильных знаний, а также опыта работы с данным оборудованием, понятно, что подобный функционал может стать опасным в руках угонщиков автомобилей, неблагонадежных личностей, либо заигравшихся в хакеров представителей молодежи.

Для решения данной проблемы отлично подошли бы устройства, использующие асимметричное шифрование. В таком случае данный функционал Flipper One & Zero станет бесполезным, т.к. взлом шифров является ресурсоемкой задачей, с которой за приемлемое время не справляются и мощные ПК. Однако далеко не каждое заведение или компания будет готова потратить деньги на покупку подобных криптографических средств защиты. А ведь каждое из них потребует сертифицировать в ФСБ России, в противном случае использование подобных подавителей может привести к нарушению Статьи 13.4. КоАП РФ. «Нарушение правил проектирования, строительства, установки, регистрации или эксплуатации радиоэлектронных средств и (или) высокочастотных устройств». Что влечет за собой штраф и конфискацию используемого устройства.

2) Следующим пунктом в достаточно большом списке доступного функционала идет Bad USB. Как уже было сказано выше, Flipper Zero&One может эмулировать USB-slave устройства и выступать в роли клавиатуры для передачи пеллоада, как и устройство USB Rubber Ducky. Напомним, что подобное устройство активно используется для установки бэкдоров, эксфильтрации документов или захвата учетных данных с компьютера. Также Bad USB позволяет эмулировать Ethernet-адаптер, что позволит подменить DNS, либо последовательный порт.

В данном случае решить проблему атаки проще. Т. к. для ее проведения необходимо подключить техническое устройство при помощи USB провода к персональному компьютеру, то с точки зрения безопасности будет логичным закрыть USB порты вовсе (если они не используются на рабочей машине), либо формировать белый список, в который будут занесены списки доверенных флеш накопителей, разрешенных для подключения.

3) Встроенная система беспроводной передачи данных малого радиуса действия NFC, способная считывать и записывать все ISO-14443 карты, банковские бесконтактные карты PayPass/PayWave и им подобные. При поддержке библиотеки LibNFC, данному устройству достаточно короткого контакта карты с нижней частью устройства.

Данная угроза также достаточно серьезна, ведь с использованием указанного функционала речь идет уже о воровстве денег с банковских карт граждан. Фактически подобные возможности Flipper выводят на новый уровень способности грабителей, заставляющих «выворачивать карманы» прохожих в темных переулках. Теперь для этого будет достаточно просто постоять несколько секунд рядом с людьми, хранящими свои карты в задних карманах брюк, либо карманах одежды.

К сожалению, абсолютную защиту от подобного придумать сложно. Однако эксплуатация RFID чехлов для банковских карт будет неплохим началом в противодействии новому виду грабежа.

4) Использование 125kHz RFID считывающего и записывающего элемента, рассчитанного на морально и технически устаревшие карты, тоже является значительной проблемой. Хотя данная технология и считается ненадежной в использовании, однако все еще остается весьма популярной у производителей домофонов или электронных замков. Таким образом, Flipper Zero&One будет способен отсканировать записанный на вашу карту код, сохранить его в памяти и в результате продублировать в необходимый для пользователя момент.

Подобный функционал способен поставить под угрозу функционирование пропускной системы предприятий и жилых домов. Фактически каждый желающий с подобным техническим устройством будет иметь возможность проникнуть на вашу территорию, всего лишь раз заполучив в свои руки, даже случайно, вашу пропускную карточку. Но лишь при условии, что пропускная система работает не с защищенными секторами памяти карт. Тогда времени на взлом и копирование карты потребуется на порядки больше.

Придумать защиту от подобного лично нам кажется невозможным. Разве что и пропуск убрать в RFID защитный чехол.

5) Аналогичной 4-ому пункту можно считать проблему наличия в устройстве многофункционального микроэлектронного устройства iButton, предназначенного для записи, считывания и эмулирования контактных ключей, работающих по протоколу 1-Wire. Т.к. система токенов в нашем государстве весьма популярна и используется как в домофонах, так и в системах доверенной загрузки предприятий, то с появлением Flipper можно будет забыть о тех гарантиях, что обещают производители систем безопасности, активно эксплуатирующих именно токены для обеспечения безопасности.

Исходя из вышесказанного, можно уже уверенно утверждать, что техническое устройство Flipper Zero&One может представлять угрозу безопасности личных данных, финансов и физической защищенности граждан. С точки зрения пентеста, если рассматривать техническое устройство, как инструмент для тестирования системы безопасности для выявления ошибок в защите и их срочного их решения, данное изобретение полезно за счет своей многофункциональности. Однако, если в руку знающего человека Flipper будет выполнять свои непосредственные обязанности, то попав в руки более легкомысленного пользователя, либо будущего злоумышленника, Flipper может стать весьма опасным инструментом для достижения личных целей.

Целью работы являлся обзор функциональных возможностей весьма спорного инструмента и указание на факт непредусмотренной ошибки – легкодоступности специализированного технического устройства. И ведь Flipper Zero&One вполне заслуженно может именовать специальным техническим средством, т.к. его функционал соответствует специальному техническому средству для негласного проникновения и обследования помещений, транспортных средств и других объектов, средства для вскрытия запирающих устройств, а также как специальное техническое средство для негласного получения информации с технического средства ее хранения, обработки и передачи, согласно решению Коллегии Евразийской экономической комиссии от 21.04.2015 № 30 «О мерах нетарифного регулирования».

Заключение

Подводя черту под вышенаписанным, следует отметить, что устройство обязательно займёт свою нишу на рынке и, при определённых обстоятельствах, даст новый толчок к прогрессу области информационной безопасности. Также стоит заметить, что параллельно появится острая необходимость в ограничении доступа со стороны законодательства Российской Федерации на распространение и продажу данного технического средства.

Библиографический список

1. Жовнер, П. Flipper Zero — пацанский мультитул-тамагочи для пентестера / П. Жовнер. — Текст : электронный // Хабр : [сайт]. — URL: <https://habr.com/ru/company/flipperdevices/blog/477440/> (дата обращения: 20.02.2021).
2. Flipper Zero - многофункциональное устройство для хакеров. Lite версия на базе STM32. — Текст : электронный // Flipper : [сайт]. — URL: <https://flipperzero.one/> (дата обращения: 20.02.2021)..

УДК 004.491.4; ГРНТИ 81.93.29

ТРЕНАЖЁР ДЛЯ ОБУЧЕНИЯ СТУДЕНТОВ ЗАЩИТЕ ДАННЫХ ОТ SQL-ИНЪЕКЦИЙ

Л.Н. Логинова, Д.А. Меркулов

*Российский университет транспорта (ФГАОУ ВО РУТ (МИИТ), РУТ (МИИТ),
кафедра «Управление и защита информации», Москва, ludmilanv@mail.ru*

Аннотация. С осуществлением задачи глобальной информатизации всех сфер человеческой деятельности значительно возросло и количество правонарушений, регулярно совершаемых в процессе эксплуатации различных интернет ресурсов. Количество угроз и прямых атак пропорционально росту человеческой деятельности в среде Интернет. Множество хакеров добиваются поставленной цели через элементарные ошибки системных администраторов. В статье рассмотрен тренажер для обучения студентов специальности 10.05.01 «Компьютерная безопасность», с помощью которого выпускник получает навыки по обеспечению безопасности информации, взаимодействуя с базой данных (БД) и последовательно выполняя предлагаемые задания.

Ключевые слова: тренажер, обучение, безопасность информации, sql-инъекции, университет, цифровизация образования, дистанционное обучение.

SIMULATOR FOR TRAINING STUDENTS DATA PROTECTION AGAINST SQL INJECTION

L. Loginova, D. Merkulov

*Russian University of Transport (MIIT),
Department of Control and Information Security, Moscow, ludmilanv@mail.ru*

Annotation. The implementation of global informatization of all spheres of activity causes an increase in the number of offenses regularly committed in the course of various exploitation of Internet resources. The number of direct attack threats to growth in the Internet environment. A lot of hackers achieve their goals through simple mistakes of system administrators. The article discusses a simulator for training students of the specialty 10.05.01 "Computer security", with the help of which the graduate acquires the skills to ensure information security, interacting with the database (DB) and sequentially proposed tasks.

Keywords: simulator, training, information security, sql-injection, university, digitalization of education, distance learning

Проблема создания глобального информационного общества, в котором была бы прочно гарантирована информационная безопасность, стала одной из важнейших составляющих международных отношений XXI века. С осуществлением задачи глобальной информатизации всех сфер человеческой деятельности значительно возросло и количество

правонарушений, регулярно совершаемых в процессе эксплуатации различных интернет ресурсов и баз данных. Количество угроз и прямых атак пропорционально росту человеческой деятельности в среде Интернет. Однако, как показывает практика, множество компьютерных правонарушителей (хакеров) добиваются поставленной цели через элементарные ошибки системных администраторов, которые по неосторожности или из-за недостатка опыта используют базовые настройки и пароли, передают учетные данные по сети в открытом виде, генерируют ошибки при построении сетей и т.д. Одним словом - человеческий фактор оказывает огромное влияние при обеспечении и защите предприятий, услуг, систем и информации.

Классификацией векторов атак и уязвимостей занимается сообщество OWASP (Open Web Application Security Project) – открытый проект обеспечения безопасности веб-приложений. Сообщество работает над созданием статей, учебных пособий, документации, инструментов и технологий, находящихся в свободном доступе. Данная организация занимается генерацией рейтинга самых опасных и в то же время самых часто используемых уязвимостей, за которые многие корпорации могут понести огромные убытки. Рейтинг называется OWASP TOP-10. Список OWASP Топ 10 - это регулярно обновляемый отчет о безопасности для защиты веб-приложений, сосредоточенный на 10 наиболее критических рисков [1].

В рамках статьи рассмотрим одну из уязвимостей списка OWASP TOP-10 –SQL-инъекция (SQi). Как правило, данные хранятся в специальных базе данных, связь с которыми строится в виде запросов, написанных на структурированном языке запросов SQL (Structured Query Language). Приложения используют запросы для того, чтобы работать с входными данными. Предположим, что пользователь намерен изменить некоторую личную информацию при заполнении анкеты на сайте. При недостаточной проверке данных от пользователя злоумышленник может внедрить в форму Web-интерфейса приложения специальный код, содержащий часть SQL-запроса. В этом случае для хакера открывается довольно широкий спектр возможностей: злоумышленник может использовать уязвимости SQL-инъекций, чтобы обойти меры безопасности приложений, он может обходить аутентификацию и авторизацию веб-страницы или веб-приложения и извлекать содержимое всей базы данных SQL. Также компьютерный правонарушитель может использовать SQL-инъекцию для добавления, изменения и удаления записей в базах данных. Даже в том случае, если администратор создает резервные копии базы данных, удаление некоторой информации может повлиять на доступность приложения до тех пор, пока база данных не будет восстановлена. Кроме того, резервные копии могут не охватывать более свежие данные. SQL-инъекции легко реализовать, но их также довольно легко предотвратить, учитывая надлежащую практику разработки. Для того, чтобы подобных инцидентов не происходило, необходимо обеспечивать подготовку специалистов в области компьютерной безопасности к возможным атакам со стороны третьих лиц, а также на протяжении обучения в высших учебных заведениях обеспечивать студентов не только теоретическим материалом, но и соответствующей практической работой, где обучающийся мог бы применить полученные знания на практике.

В рамках обучения студентов в Российском университете транспорта (РУТ(МИИТ)) на кафедре «Управление и защита информации» был подготовлен обучающий тренажер для студентов по специальности 10.05.01 «Компьютерная безопасность», с помощью которого выпускник получает навыки по обеспечению безопасности, взаимодействуя с базой данных (БД) и последовательно выполняя предлагаемые задания. Структура тренажера представлена на рисунке 1.

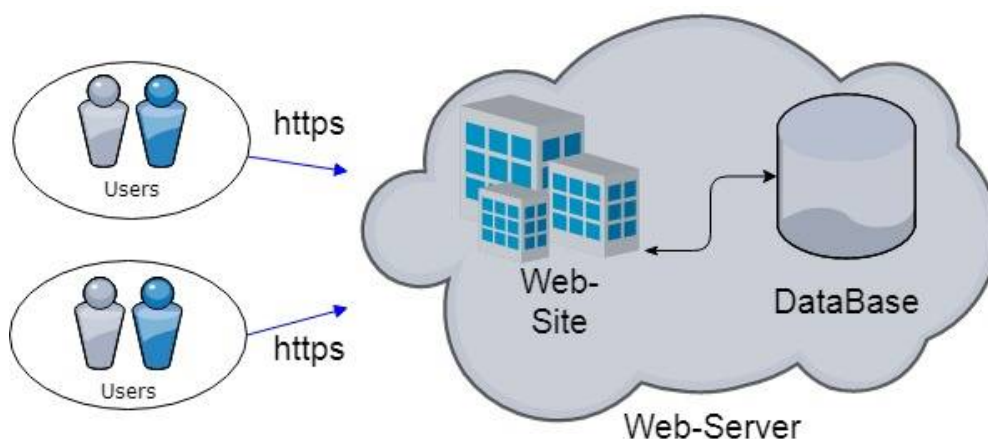


Рис. 1. Структура тренажера

Работа тренажера реализована на высокоуровневом языке программирования Python с использованием библиотеки Flask [2] и Sqlite. Для хранения данных в БД используется библиотека Sqlite [3]. Данные хранятся на облачном сервере, студент обращается к веб-сайту тренажера по указанному ip-адресу. Для каждого задания разработаны БД, которые имеют несколько таблиц с определенными полями, все файлы хранятся также на сервере. Доступ к БД осуществляется с помощью запроса к веб-странице. Запросы к БД сформированы с уязвимостями, которые в рамках работы с тренажером следует определить.

Студентам предлагается выполнить ряд практических работ, в которых необходимо проанализировать и скорректировать sql-запрос для того, чтобы получить скрытую информацию из базы данных. На рисунке 2 представлен веб-интерфейс, в котором обучающемуся предлагается ввести запрос к БД для того, чтобы получить информацию, указанную в задании.

Рис. 2. Рабочая область задания

Результат отображается после ввода корректного запроса, например, в случае одного из заданий, правильный запрос: `select * from users where userid = 1`, после ввода получим пароль пользователя с `userid=1`. Задание знакомит студентов с тренажером и дает представление о содержимом базы таблицы.

На рисунке 3 представлен веб-интерфейс, в котором студенту предлагается сформировать запрос для того, чтобы получить скрытую информацию, однако отсутствует возможность ввода некоторых знаков, т.к. они подвержены фильтрации, следовательно, студенту требуется найти способ, чтобы учесть запрет на ввод данных и получить требуемую информацию.

Уровень 2

← → ↻ 🏠 127.0.0.1:5000/2

Авиабилеты Яндекс

Таблица: users
 Поля: userid, fname, lname, gender, pass
 Запрос: select * from users where userid=2 or fname=\$text
 Подсказка: нужно использовать кавычку

Введите запрос к БД

Я знаю ответ(пароль юзера с id=9):

Рис. 3. Результат работы инъекции

В процессе работы студентов направления подготовки 10.05.01, происходит повышение эффективности и качества процесса обучения за счет применения средств современных цифровых технологий, внедрение которых в образовательный процесс диктует необходимость изменения самого учебного процесса: переход от традиционных к инновационным формам, методам и способам обучения.

Разработанный тренажер может быть активно применен для обеспечения взаимодействия педагога и учащегося во время очного и/или дистанционного обучения.

Библиографический список

- 1) URL: <https://www.codehint.ru/articles/2019-01-09-what-is-owasp> (Дата обращения: 20.02.2021).
- 2) URL: <https://www.sqlite.org/index.html> (Дата обращения: 20.02.2021).
- 3) URL: <https://pythonru.com/uroki/3-osnovy-flask> (Дата обращения: 20.02.2021).

УДК 004.657; ГРНТИ 20.23.17

БЕЗОПАСНОЕ КОДИРОВАНИЕ ДЛЯ СИСТЕМ БАЗ ДАННЫХ

А.О. Корнеев, И.В. Кокорина

*Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина.
 Российская Федерация, Рязань, alekseykorneev112@yandex.ru*

Аннотация. В работе рассматриваются проблемы написания безопасного кода для систем баз данных. А также приводятся основные методы и средства защиты от данных уязвимостей.

Ключевые слова: базы данных, SQL-команды, безопасность баз данных, хранимые процедуры.

SECURE CODING FOR DATABASE SYSTEMS

A.O. Korneev, I.V. Kokorina

*Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,
 Russia, Ryazan, alekseykorneev112@yandex.ru*

The summary. The paper deals with the problems of writing secure code for database systems. And also the main methods and means of protection against these vulnerabilities are given.

Keywords: databases, SQL commands, database security, stored procedures.

Одной из главных проблем систем баз данных является внедрение SQL-команд. Это широко распространенный дефект, который может привести к компрометации базы данных, а точнее к раскрытию конфиденциальной информации. Причем важно понимать, что все языки программирования, применяемые для организации интерфейса взаимодействия с базой данных, подвержены этой уязвимости. Другой проблемой является открытый порт к сер-

веру базы данных (TCP/1433 для Microsoft SQL Server, TCP/1521 для Oracle, TCP/523 для IBM/DB2 и TCP/3306 для MySQL) для доступа из Интернета и оставленный без изменения принимаемый по умолчанию пароль администратора базы данных [1].

Передача секретных данных в программе

Важным аспектом безопасности при написании программ для работы с базами данных является передача данных для подключения к ним. Рассмотрим небольшую часть кода, написанного на языке C#.

```
using System.Data;
using System.Data.SqlClient;
string ccnum = "None";
try {
    SqlConnection sql = new SqlConnection(
        @"data source=localhost;" +
        "user id=sa;password=pAs$w0rd;");
    sql.Open();
```

В представленном участке кода существуют несколько грубых нарушений написания безопасного кода. Во-первых, при подключении к базе данных используется *sa*, то есть учетная запись системного администратора (sysadmin) SQL Server. Аналог *sa* в *Oracle* — учетная запись *internal*. Данная учетная запись обладает максимально возможными полномочиями и способна нанести непоправимый ущерб. Необходимо использовать учетную запись с минимально возможными правами. Во-вторых, пароль к учетной записи *sa* недостаточно сложный. Но самой главной ошибкой является написание секретных данных в коде программы.

Для решения проблемы передачи секретных данных в программе существует два основных подхода:

- использование методов защиты данных, предоставляемых операционной системой;
- перемещение секретных данных в директорию, не доступную из интерфейса взаимодействия с базой данных.

Рассмотрим первый подход. В операционной среде Windows для данной цели служит Data Protection API (DPAPI), а в Mac OS X — технология KeyChain. Данный способ рекомендуется к использованию, но имеет привязку к операционной системе. Поэтому подробнее остановимся на втором подходе. Он является более сложным, но при этом более универсален. Суть подхода заключается в размещении секретных данных в директориях, не доступных приложению. В Windows можно также использовать реестр, тогда злоумышленнику придется исполнить на серверной машине код, который может читать значения из реестра, что при правильном разграничении прав доступа не возможно. Для примера дополним приведенный выше код функцией [2].

```
static string GetSQLConnectionString() {
    NameValueCollection settings = ConfigurationSettings.AppSettings;
    string filename = settings.Get("connectFile");
    if (filename == null || filename.Length == 0)
        throw IOException();
    FileStream f = new FileStream(filename, FileMode.Open);
    StreamReader reader = new StreamReader(f, Encoding.ASCII);
    string connection = reader.ReadLine();
    reader.Close();
```

```
f.Close();  
return connection;  
}
```

Тогда получим следующий код для подключения к базе данных:

```
using System.Data;  
using System.Data.SqlClient;  
string ccnum = "None";  
SqlConnection sql = new SqlConnection(GetSQLConnectionString());  
sql.Open();
```

Внедрение SQL-команд

Уязвимость, построенная на внедрение SQL-команд — это широко распространенный способ получения секретной информации из баз данных. Причем важно понимать, что ущерб не ограничивается данными, хранящимися в базе. Внедрение SQL-команд может скомпрометировать сам сервер, и, не исключено, что всю сеть целиком.

Рассмотрим классический пример внедрения SQL-команд, основанный на конкатенации строк, код которого выглядит примерно так:

```
string sql = "select * from client where name = '" + name + "'"
```

В данном случае пользователь передает параметр *name*. Если пользователь, например, введет *Alice*, в результате вернется таблица *client*, в которой столбец *name* совпадает со значением *Alice*. Это благоприятный исход событий. Но пользователь может ввести следующие: *Alice' or 1=1--*, в результате получится тот же результат, что и в предыдущем примере, а также в добавок выведутся все строки таблицы *client*, так как выражение *1=1* истина для всех строк. При помощи оператора комментариев «--», закомментируем «'», чтобы избежать синтаксической ошибки. Причем важно понимать, что данный оператор комментария «--» поддерживают многие СУБД, в том числе такие как: Microsoft SQL Server, IBM DB2, Oracle, PostgreSQL и MySQL.

Данная уязвимость также может навредить целостности данных в защищаемой базе данных, например если злоумышленник напишет следующее: *Alice' or drop table client--*, в результате злоумышленнику удастся удалить целую таблицу из базы данных.

Многие разработчики пытаются решить эту проблему заключением вводимых данных в кавычки, например таким образом:

```
string age = ...; // Возраст, введенный пользователем.  
string name = ...; // Имя, введенное пользователем.  
name = name.Replace("'", "");  
SqlConnection sql = new SqlConnection(...);  
sql.Open();  
sqlstring = @"SELECT * +  
" FROM client WHERE name = '" + name + "' or age = " + age;  
SqlCommand cmd = new SqlCommand(sqlstring, sql);
```

В данном случае при вводе злоумышленником конструкции «*Alice' or 1=1--*», одиночная кавычка, отделяющая имя, продублируется, что приведет к синтаксической

ошибке. Но это не лишает возможности злоумышленника воспользоваться полем *age*, например следующим образом:

```
select * FROM client WHERE ID = 'Alice' or age=35;shutdown –
```

Данная команда остановит сервер, что приведет к сбою в работе.

Еще одним методом, которым пользуются разработчики, является использование хранимых процедур. Эта мера предотвращает лишь некоторые виды атак. Рассмотрим пример:

```
string name = ...; // Имя, введенное пользователем.  
SqlConnection sql= new SqlConnection(...);  
sql.Open();  
sqlstring=@"exec sp_GetName " + name + "";  
SqlCommand cmd = new SqlCommand(sqlstring,sql);
```

Данный код вызывает хранимую процедуру *sp_GetName*, такое использование хранимой процедуры избавит от попытки внедрения «*Alice' or 1=1--*», так как невозможно выполнить соединение (join) между вызовами хранимых процедур.

Однако данный подход не защитит от попытки ввести следующую SQL конструкцию:

```
exec sp_GetName 'Alice' insert into client values(1005, 'Bob')
```

Эта SQL-команда получит данные о клиенте Alice и вставит новую запись в таблицу клиентов. Данный пример доказывает, что использование хранимых процедур не делает код неуязвимым для атак с внедрением SQL-кода.

Защищенный код для взаимодействия с базами данных

Исходя из всего выше сказанного, главной уязвимостью при написании кода для взаимодействия с базами данных является излишнее доверие к входным данным. Поэтому самый надежный способ избавиться от данной уязвимости — это не передавать на исполнение не обработанные данные. Обращивать входные данные эффективнее всего при помощи регулярных выражений, причем они доступны как в языках программирования, так и на языке SQL.

Рассмотрим пример поэтапной защиты от уязвимости с внедрением SQL-кода.

```
using System;  
using System.Data;  
using System.Data.SqlTypes;  
using System.Data.SqlClient;  
using System.Security.Principal;  
using System.Security.Permissions;  
using System.Text.RegularExpressions;  
using System.Threading;  
using System.Web;  
using Microsoft.Win32;  
[SqlClientPermissionAttribute(SecurityAction.PermmitOnly,  
AllowBlankPassword=false)]  
[RegistryPermissionAttribute(SecurityAction.PermmitOnly,  
Read=@"HKEY_LOCAL_MACHINE\SOFTWARE\Client")]
```

```

static string GetName(string Id)
{
    SqlCommand cmd = null;
    string Status = "Name Unknown";
    try {
        // Проверить корректность переданного идентификатора (ID).
        Regex r = new Regex(@"^\d{4,10}$");
        if (!r.Match(Id).Success)
            throw new Exception("Неправильный ID");
        // Считать строку подключения из реестра.
        SqlConnection sqlConn = new SqlConnection(ConnectionString);
        // Добавить переданный ID-параметр.
        string str = "sp_GetName";
        cmd = new SqlCommand(str, sqlConn);
        cmd.CommandType = CommandType.StoredProcedure;
        cmd.Parameters.Add("@ID", Convert.ToInt64(Id));
        cmd.Connection.Open();
        Status = cmd.ExecuteScalar().ToString();
    } catch (Exception e) {
        if (HttpContext.Current.Request.UserHostAddress == "127.0.0.1")
            Status = e.ToString();
        else
            Status = "При обработке запроса произошла ошибка ";
    } finally {
        // Закрывать подключение даже в случае сбоя.
        if (cmd != null)
            cmd.Connection.Close();
    }
    return Status;
}

// Получить строку подключения.
internal static string ConnectionString {
    get {
        return (string)Registry
            .LocalMachine
            .OpenSubKey(@"SOFTWARE\Client\")
            .GetValue("ConnectionString");
    }
}

```

В данном примере проиллюстрированы следующие уровни защиты:

- Категорически запрещены пустые пароли подключения к базе данных — на случай, если администратор по ошибке создаст учетную запись с пустым паролем;
- Приложению разрешено считывать только один определенный раздел реестра; другие операции с реестром запрещены;
- Код проводит валидацию данных на основе регулярного выражения, в данном случае цифры от 4 до 10, любые другие данные выдадут ошибку;
- Строка подключения к базе данных хранится в реестре, а не в коде или, например, в конфигурационных файлах Web-сервиса;
- Хранимая процедура применяется в основном для сокрытия логики приложения, на случай компрометации кода;

- Для создания подключения используется учетная запись с минимально возможными привилегиями;
 - Для построения запросов применяются параметры, а не конкатенация строк;
 - Вводимые данные записываются в 64-разрядные целочисленные переменные (контроль типов);
 - При сбое злоумышленник не получает никакой информации, кроме самого факта ошибки;
 - Подключение к базе данных всегда закрывается, даже при сбое программы.
- Использование всех этих механизмов позволяет сделать код, взаимодействующий с базами данных, весьма безопасным.

Библиографический список

1. Майкл Ховард, Дэвид Лебланк, Защищенный код/Пер. с англ. — 2-е изд., испр. — М.: Издательство «Русская Редакция», 2005. — 704 стр.: ил.
2. Майкл Ховард, Дэвид Лебланк, Джон Виега 19 смертных грехов, угрожающих безопасности программ. Как не допустить типичных ошибок.

УДК 004.056; ГРНТИ 81.96.00

ПОРЯДОК И ИНСТРУМЕНТЫ СБОРА ИНФОРМАЦИИ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ АУДИТА БЕЗОПАСНОСТИ КОМПЬЮТЕРНЫХ СИСТЕМ, ПОСТРОЕННЫХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭВМ НА ОС LINUX

Е.М. Бабанова

*Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань, babanova.lena2011@yandex.ru*

Аннотация. В работе рассматривается порядок проведения аудита автоматизированной системы и инструменты, используемые на каждом из этапов.

Ключевые слова: информационная безопасность, аудит информационной безопасности, автоматизированные системы.

THE PROCEDURE AND TOOLS FOR COLLECTING INFORMATION WHEN CONDUCTING A SECURITY AUDIT OF COMPUTER SYSTEMS BUILT USING A LINUX COMPUTER

Е.М. Babanova

*Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,
Russia, Ryazan, babanova.lena2011@yandex.ru*

The summary. The article discusses the procedure for conducting an audit of an automated system and the tools used at each stage.

Keywords: information security, information security audit, automated systems.

Понятие, виды и порядок проведения аудита безопасности

На данный момент определений понятия «аудит информационной безопасности» достаточно много, но к сожалению, нет единого. В общем случае оно представляет собой - процесс поэтапного сбора и анализа информации о компьютерной сети, необходимой для последующего проведения качественной и/или количественной оценки уровня защиты информационной сети от угроз и атак.

В настоящее время можно выделить основные виды аудита информационной безопасности:

- экспертный аудит безопасности для выявления недостатков в системе мер защиты информации, основанном на опыте экспертов, участвующих в процедуре обследования;
- оценка на соответствие рекомендациям Международного стандарта ISO 17799, а также требованиям руководящих документов ФСТЭК;
- инструментальный анализ защищённости (пентест, тест на проникновение), направленный на выявление уязвимостей программного, аппаратного и программно-аппаратного обеспечения информационной системы;
- комплексный аудит.

В качестве объекта аудита может выступать не только автоматизированная сеть в целом, но и различные сегменты (участки) сети, в которых проводится обработка информации, подлежащей защите.

Порядок проведения аудита безопасности

Зачастую, вне зависимости от формы проведения, аудит безопасности проходит четыре стадии:

1. Разработка регламента проведения аудита

На первом этапе совместно с Заказчиком аудита разрабатывается регламент, характеризующий состав и порядок проведения услуги. Чаще всего регламент содержит следующую информацию:

- перечень информации, предоставляемой Исполнителю для проведения аудита;
- перечень ресурсов, которые рассматриваются в качестве объектов защиты;
- модели угроз информационной безопасности, на основе которых проводится аудит;
- категории пользователей, рассматриваемых в качестве потенциальных нарушителей.

2. Сбор исходных данных

На данном этапе, в соответствии с согласованным регламентом, осуществляется сбор исходной информации. Методы сбора информации включают, заполнение опросных листов по итогам бесед с сотрудниками Заказчика, анализ и систематизация предоставленной организационной и технической документации, а также использование специализированных инструментов для проникновения и анализа информационной системы (выполнение тестов на проникновение с моделированием возможных атак).

3. Анализ полученных данных с целью оценки текущего уровня безопасности

Третий этап работ включает анализ собранной информации и оценку текущего уровня защищённости.

4. Разработка рекомендаций по повышению уровня защиты информационных систем предприятия

По результатам проведённого анализа на данном этапе проводится разработка рекомендаций для дальнейшего повышения уровня характеристик защищённости систем.

Сбор исходных данных для проведения аудита

С уверенностью можно сказать, что качество проводимого аудита безопасности во многом зависит от полноты и точности информации, полученной в процессе сбора исходных данных. Чаще всего требуется информация:

- политика информационной безопасности АС;
- нормативно-правовые документы о хранении, порядке доступа и передаче информации;
- перечень серверов, рабочих станций;

- информация об аппаратных средствах серверов и рабочих станций;
- информация о периферийном оборудовании в АС
- информация об ОС рабочих станций и серверов;
- данные о СУБД;
- перечень прикладного ПО, используемого в данной организации, и как оно используется;
- информация о производителе и настройках средств защиты информации, используемых на предприятии;
- топология сети, включающая схему нахождения серверов и рабочих станций в сегментах;
- информация о типах каналов связи и сетевых протоколах;

Соотношение этапа проведение сбора информации при проведении аудита и инструментов, используемых на данном этапе

Составим таблицу, в которой опишем каждый из этапов сбора информации и инструменты, используемые в нем.

Таблица 1. Соотношение этапа проведение сбора информации при проведении аудита и инструментов, используемых на данном этапе.

№	Этап сбора информации	Инструмент	Описание
1.	Проверка учетных записей		
1.1	Вывести список всех пользователей	Bash-скрипты auditd	Список пользователей хранится в файле /etc/passwdfile. Необходимо начать с проверки с помощью автоматизированного инструмента просмотра статистики по возникновении предупреждений использовать (например, Lynis), а далее при возникновении предупреждений имеет смысл использовать bash-скрипты или специализированные программы (auditd для проверки модуля PAM).
1.2	Вывести список заблокированных учетных записей	Bash-скрипты auditd	
1.3	Просмотр статистики по всем пользователям	Bash-скрипты Lynis auditd	
1.4	Просмотр активности пользователей	Bash-скрипты	
2.	Проверка парольной политики		
2.1	Учетные записи с пустым паролем	Bash-скрипты LBSA auditd	Если при запуске одного из автоматизированных инструментов выявляются предупреждения по отношению паролей следует исключить данную вероятность, с помощью bash-скриптов. Возможно сначала просканировать с помощью LBSA, в дальнейшем можно будет использовать словарь паролей, собранный с помощью Crunch согласно парольной политики компании. Данные параметры автоматически проверяются при использовании LBSA, но также возможно и использовать и bash-скрипты
2.2	Проверка сложности пароля	Bash-скрипты LBSA Crunch	
2.3	Проверка срока действия пароля	Bash-скрипты LBSA	
2.4	Использование повторяющихся паролей	Bash-скрипты LBSA	
3.	Настройки защищенного подключения		
3.1	Вход в систему от имени суперпользователя (root login)	Bash-скрипты LBSA	В данном случае нам необходимо проверить возможность входа в АС с правами суперпользователя (root) удалено Проверка защищенного доступа по SSH служебного беспарольного аккаунта
3.2	Проверка служебного аккаунта SSH login	Bash-скрипты LBSA Lynis	

4. Проверка системных журналов			
4.1	Журналы событий в Linux	Bash-скрипты syslogd auditd	Также требуется просмотр настроек syslog.config демона syslogd, чтобы узнать, как настроена система журналирования событий. Для этого можно воспользоваться также демоном auditd, если аудит проводится силами службы безопасности компании, т.к. программа позволяет наблюдать в режиме реального времени.
4.2	Журнал ядра в Linux	Bash-скрипты auditd	
4.3	Проверка списков доступа в DenyHosts и Fail2ban	Bash-скрипты LBSA Lynis	Проверка журналов доступа на предмет подключения по SSH каналам. Следует отдельно после проверок проверить и bash-скриптами.
5. Защита системных файлов			
5.1	Защита загрузчика GRUB	Bash-скрипты Lynis	Данный пункты просматриваются одновременно при запуске Lynis, в дальнейшем при просмотре отчета есть смысл посмотреть с помощью bash.
5.2	Защита загрузочной директории /BOOT	Bash-скрипты Lynis	
5.3	Проверка открытых портов и активных соединений	Bash-скрипты Lynis Nmap Courtney Ping	Удобнее всего использовать Nmap из-за его простоты и многофункциональности (прим. <i>включает в себя в т.ч. функции ping</i>)
5.3.1	Прослушиваемые порты	Bash-скрипты Lynis Nmap Courtney Ping	
5.3.2	Проверка wire-less и USB подключений	Bash-скрипты Lynis	Имеет смысл проверить wireless на предмет установки пакета WPA2, как самого безопасного на данный момент и проверить парольную политику с помощью методики как в п.2.2
5.3.3	Проверка периферийных устройств	Bash-скрипты Lynis	Целесообразно проводить данную проверку с помощью автоматизированных инструментов, а уже далее при возникновении предупреждений есть смысл написать bash-скрипт для конкретной проверки.
5.4	Проверка установленных обновлений	Bash-скрипты Lynis	
6.	Проверка настроек, используемых защитных механизмов	Bash-скрипты	Используются для установления, какие системы были использованы, а также в дальнейшем в зависимости от используемой системы можно подбирать собственные инструменты. (прим. <i>Проверка конфигурации, наиболее часто используемого механизма SELinux также возможно с помощью bash-скриптов</i>)
7.	Проверка настроек брандмауэра (firewall)	Bash-скрипты Nmap Courtney	Проверка настроек брандмауэра и межсетевого экрана происходит с помощью имитации отправки пакетов различных протоколов (сканирования сети в разных режимах).

Здесь описаны лишь некоторые из инструментов, т.к. они являются бесплатными. Стоит отметить, что многие из компаний-аудиторов разрабатывают собственное ПО, с помощью которого осуществляют сбор информации о аппаратной, программной и программно-аппаратной составляющей АС. Также стоит отметить и то, что каждый из экспертов имеет свой перечень обследуемых пунктов, который отличается в зависимости от конфигурации и назначении сети, а также держится в тайне. В приведенной выше таблице представлены

лишь основные, обще-рекомендуемые пункты, а также пункты, которые возможно «осмотреть» с помощью автоматизированных инструментов.

Библиографический список

1. НОУ ИНТУИТ [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://www.intuit.ru/studies/courses/600/456/lecture/10226> дата доступа - 11.12.2020
2. Скабцов Н. Аудит безопасности информационных систем. — СПб.: Питер, 2018. — 272 с.: ил. — (Серия «Библиотека программиста»).
3. Бэндел, Дэвид. Защита и безопасность в сетях Linux : Для профессионалов / Дэвид Бэндел; [Пер. с англ. П. Анджан, Л. Романов]. - М. [и др.] : Питер, 2002. - 480 с.; 24 см + CD-ROM. - (Linux библиотека); ISBN 5-318-00057-6
5. wiki.metawerx [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://wiki.metawerx.net/wiki/LBSA> дата доступа - 13.12.2020
6. cisofy [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://cisofy.com/lynis/> дата доступа - 25.12.2020
7. хакер [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://haker.ru/2018/10/15/linux-hardening/> дата доступа - 20.12.2020

УДК 004.65; ГРНТИ 50.41.21

SQL-ИНЪЕКЦИИ В ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЯХ И ЗАЩИТА ОТ НИХ

А.Г. Зыкин

*Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина.
Российская Федерация, Рязань, zykin_ag@mail.ru*

Аннотация. В работе рассматриваются проблемы обеспечения защиты веб-приложений от атак с использованием SQL-инъекций. А также приводятся анализ вектора веб-атак и способы предотвращения внедрения SQL-кода.

Ключевые слова: SQL-инъекция (SQLi), кибератака, вектор атаки, база данных, обнаружение внедрений, вредоносные данные, SQL-команды, выявленные уязвимости.

SQL INJECTION IN WEB APPLICATIONS AND PROTECTION AGAINST THEM

A.G. Zykin

*Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,
Russia, Ryazan, zykin_ag@mail.ru*

The summary. The paper discusses protecting web applications from SQL injection attacks. It also analyzes the vector of web attacks and how to prevent SQL injection.

Keywords: SQL-injection (SQLi), cyber-attack, attack vector, database, injection detection, malicious data, SQL commands, identified vulnerabilities.

Сегодня наиболее распространенным средством компрометации данных и проникновения на веб-сайты является SQL-инъекция. SQL-инъекция — это атака на уровне приложения, которая использует уязвимости безопасности на веб-сайтах и в приложениях, и при выполнении дает злоумышленнику доступ к базе данных. Наряду с вредоносным ПО и DDoS-атаками, атаки с использованием SQL-инъекций являются одной из наиболее распространенных форм кибератак.

Атаки на основе SQL-инъекций используют уязвимости в языке структурированных запросов (SQL), применяемом в реляционных базах данных, для нарушения работоспособности или проникновения в базы данных. Атаки с использованием SQL-инъекций либо пытаются нарушить работу приложения напрямую, либо перенаправляют логику в базу данных, где они могут скомпрометировать данные, хранящиеся в ней. Данные атаки возможны из-за некорректной обработки входной информации, используемой в SQL-запросах. Разработчик

прикладных программ, работающих с базами данных, должен знать о таких уязвимостях и принимать меры по противодействию их внедрения в SQL-запрос.

Анализ векторов веб-атак

У кибератак есть несколько направлений взлома веб-приложений, но внедрение SQL-кода, как показывает новый анализ данных об атаках, по-прежнему остается наиболее популярным выбором.

В своем последнем отчете «Состояние Интернета» компания Akamai проанализировала данные о 10 628 755 494 атак на веб-приложения, совершенных в период с июля 2018 года по июнь 2020 года [1]. На картине атак, SQL-инъекция (SQLi) по-прежнему является вектором атаки номер один с 76,2%, что представлено на рисунке 1. Число атак SQLi на уровне веб-приложений возросло на 11% по сравнению с предыдущим исследованием.

При рассмотрении статистики за больший период, а именно с 2016 года, можно отметить еще более значительный рост числа SQL-инъекций. По сравнению с 2016 годом число SQL-инъекций возросло уже на 32%, что является весьма значительным показателем.

Атаки с включением локальных файлов (LFI), которые, как и SQLi, также активируются из-за того, что веб-приложение не может правильно проверить ввод данных пользователем, составили еще 16,3% атак. В совокупности атаки SQLi и LFI составили 92,4% всех атак на уровне веб-приложений за последние два года исследований Akamai [1].



Рис. 1. Статистика самых популярных векторов веб-атак

Ошибки внедрения SQL и ошибки межсайтового скриптинга (XSS) возглавляют список десяти основных веб-уязвимостей проекта Open Web Application Security Project (OWASP) уже более десяти лет [2]. На данный момент XSS, и SQLi хорошо изучены, и многие исследователи годами каталогизируют опасности, связанные с ними.

Рост числа SQL-инъекций как вектора атаки должен беспокоить владельцев веб-сайтов. Только SQLi атаки продолжают показывать рост в то время, как все остальные направления атак стабильны или сокращаются. Данный факт показывает, что относительно небольшое внимание уделяется безопасности базы данных на этапе разработки приложений.

Как определить уязвимость приложения

Приложение уязвимо для внедрения в следующих случаях:

- введенная пользователем информация не проходит процедуру проверки, фильтрации или не очищается;
- непараметризованные вызовы и/или динамические запросы без контекстного экранирования используются в интерпретаторе напрямую;
- в поисковых параметрах объектно-реляционного отображения используются вредоносные данные для извлечения информации ограниченного доступа и/или критичной информации;
- вредоносная информация используется или добавляется таким образом, что SQL код или команды содержат вредоносные и/или структурные данные в хранимых процедурах, динамических запросах или командах.

Наибольшее распространение получили SQL-, ORM-, NoSQL-, EL-, OGNL-, LDAP-внедрения, а также внедрения команд ОС [2]. Аналогично и со всеми интерпретаторами. Наилучшим способом обнаружения внедрения является анализ исходного кода, после которого производится полное автоматизированное тестирование всех вводимых заголовков, параметров, Cookie, URL, SOAP-, JSON- и XML-данных. Для обнаружения в приложении новых уязвимостей перед внедрением в производство компании также могут включить в процесс непрерывной интеграции (CI) и непрерывного развертывания (CD) программного обеспечения статическое (SAST) и динамическое (DAST) тестирование защищенности приложения.

Сценарии атак

Сценарий №1. Использование приложением недоверенных данных при создании уязвимого SQL-вызова возможно при использовании следующего запроса:

```
var query = "SELECT *  
FROM users  
WHERE userID='" + req.getParameter("id") + "'";
```

Сценарий №2. Полное доверие приложения к программным платформам может приводить к возникновению уязвимых запросов (например, в объектно-ориентированном языке запросов HQL):

```
Query query = session.createQuery  
("FROM users  
WHERE userID='" + req.getParameter("id") + "'");
```

В данных случаях злоумышленник производит изменение в браузере значение параметра "id" для отправки ' or '1'='1:

```
http://test.com/application/userView?id=' or '1'='1
```

В обоих случаях изменение запросов позволит получить все записи из таблицы данных о пользователях. При проведении более серьезной атаки злоумышленник получит возможность изменять или удалять данные, а также вызывать хранимые процедуры.

Предотвращение SQL-инъекций

Для защиты приложений от внедрений рекомендуется использовать комплекс следующих мер:

1. Предпочтительный вариант – использование безопасного API, который полностью избегает применение интерпретаторов, или предоставляющего параметризованный интерфейс, либо перейти на использование инструментов объектно-реляционного отображения (ORM). Даже параметризованные хранимые процедуры также могут приводить к SQL-инъекциям, в том случае если T-SQL или PL/SQL позволяют присоединить запросы и данные или выполнить вредоносный код при помощи конструкций выполнения *exec()* или *EXECUTE IMMEDIATE* [2].

1. Использование не сервере белых списков для проверки входных данных. Это, конечно, не будет обеспечивать полную защиту, так как многие приложения используют спец-символы, например, в текстовых областях или API для мобильных приложений.

2. Для динамических запросов производить экранирование специальных символов, используя специальный синтаксис, соответствующий этому интерпретатору. Элементы SQL-структуры, такие как названия таблиц, названия столбцов, и т.д. нельзя экранировать, поэтому предоставляемые пользователями названия структур представляют опасность. Это стандартная проблема в программах для формирования отчетов.

3. Использование LIMIT и других элементов управления SQL в запросах для предотвращения массовых утечек данных в случае SQL-инъекций.

4. Использование средств межсетевого экрана Web Application Firewall (WAF) в комплексе со средствами защиты и мониторинга баз данных (Database Firewall, DAM) для защиты веб-приложения и баз данных от атак и предотвращения утечки информации.

5. Регулярное осуществление анализа защищенности приложений и устранение выявленных уязвимостей. Рекомендуется проводить анализ методом белого ящика не только при приемке кода или перед вводом системы в эксплуатацию, но и на всех этапах жизненного цикла приложения.

6. Использование актуальных версий серверов, ОС, систем управления контентом, библиотек и другого программного обеспечения. Рекомендуется регулярно обновлять системы и устанавливать актуальные патчи.

7. Регистрация обнаруженных киберинцидентов и проведение их расследования, для своевременного определения источника угрозы и минимизации рисков.

8. Использование принципа минимальных привилегий. Данный принцип требует предоставление пользователю только тех привилегий, которые являются абсолютно необходимыми для решения задач пользователя.

Библиографический список

1. 2020 State of the Internet / Security Report [Электронный ресурс]. URL: <https://www.akamai.com/us/en/resources/our-thinking/state-of-the-internet-report/global-state-of-the-internet-security-ddos-attack-reports.jsp>.
2. Топ-10 OWASP - 2017 Десять самых критичных угроз безопасности веб-приложений [Электронный ресурс]. URL: https://owasp.org/www-pdf-archive/OWASP_Top_10-2017-ru.pdf.

УДК 004.056.52; ГРНТИ 81.93.29

РАЗРАБОТКА РЕКОМЕНДАЦИЙ ПО СООТНОШЕНИЮ УГРОЗ БЕЗОПАСНОСТИ ИНФОРМАЦИИ ТЕХНИКАМ И ТАКТИКАМ ПРОВЕДЕНИЯ КОМПЬЮТЕРНЫХ АТАК

Д.И. Питенин

*Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина.
Российская Федерация, Рязань, denis.pitenin@yandex.ru*

Аннотация. В работе рассматривается проблема необходимости использования общего перечня угроз безопасности информации и описания векторов (шаблоны) компьютерных атак между которыми не указано соответствие. А также предлагаются рекомендации для написания модели угроз.

Ключевые слова: Банк данных угроз, вектора компьютерной атаки, тактика, техника, угроза безопасности информации, модель угроз

DEVELOPMENT OF RECOMMENDATIONS ON THE THREAT TO THE SECURITY OF INFORMATION TECHNOLOGY AND TACTICS OF CARRYING OUT COMPUTER ATTACKS

D.I. Pitenin

*Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,
Russia, Ryazan, denis.pitenin@yandex.ru*

The summary. The paper considers the problem of the need to use a general list of threats to information security and the description of vectors (patterns) of computer attacks between which no correspondence is indicated. It also offers guidelines for writing a threat model.

Keywords: databank of threats, vectors of a computer attack, tactics, technology, threat to information security, threat model

В соответствии с методическим документом «Методика оценки угроз безопасности информации», утвержденном ФСТЭК России 5 февраля 2021 г.:

«2.3. Исходными данными для оценки угроз безопасности информации являются:

а) общий перечень угроз безопасности информации, содержащийся в банке данных угроз безопасности информации ФСТЭК России (bdu.fstec.ru), модели угроз безопасности информации, разрабатываемые ФСТЭК России в соответствии с подпунктом 4 пункта 8 Положения о Федеральной службе по техническому и экспортному контролю, утвержденного Указом Президента Российской Федерации от 16 августа 2004 г. № 1085, а также отраслевые (ведомственные, корпоративные) модели угроз безопасности информации;

б) описания векторов (шаблоны) компьютерных атак, содержащиеся в базах данных и иных источниках, опубликованных в сети «Интернет» (CAPEC, ATT&CK, OWASP, STIX, WASC и др.);»

В свою очередь, перечень угроз безопасности информации и описания векторов компьютерных атак являются исходными данными для:

- определения возможных объектов воздействия угроз безопасности информации;
- определения источников угроз безопасности информации;
- оценки способов реализации (возникновения) угроз безопасности информации;
- оценки актуальности угроз безопасности информации.

Исходя из вышесказанного можно сделать вывод о необходимости сопоставления угроз безопасности информации техникам и тактикам проведения компьютерных атак. Угрозы безопасности информации представлены в Банке данных угроз безопасности информации (bdu.fstec.ru), а техники и тактики проведения компьютерных атак определены в методическом документе «Методика оценки угроз безопасности информации», утвержденном ФСТЭК

России 5 февраля 2021 г. (далее Методический документ). Ключевым понятием также является «объекты воздействия», определенный в названном Методическом документе как:

«объекты воздействия – информационные ресурсы и компоненты систем и сетей, несанкционированный доступ к которым или воздействие на которые в ходе реализации (возникновения) угроз безопасности информации может привести к негативным последствиям».

В Методическом документе определяются следующие группы информационных ресурсов и компонентов систем и сетей, которые могут являться объектами воздействия:

«а) **информация** (данные), содержащаяся в системах и сетях (в том числе защищаемая информация, персональные данные, информация о конфигурации систем и сетей, данные телеметрии, сведения о событиях безопасности и др.);

б) **программно-аппаратные средства** обработки и хранения информации (в том числе автоматизированные рабочие места, серверы, включая промышленные, средства отображения информации, программируемые логические контроллеры, производственное, технологическое оборудование (исполнительные устройства));

в) **программные средства** (в том числе системное и прикладное программное обеспечение, включая серверы приложений, веб-приложений, системы управления базами данных, системы виртуализации);

г) **машинные носители** информации, содержащие как защищаемую информацию, так и аутентификационную информацию;

д) **телекоммуникационное оборудование** (в том числе программное обеспечение для управления телекоммуникационным оборудованием);

е) **средства защиты информации** (в том числе программное обеспечение для централизованного администрирования средств защиты информации);

ж) привилегированные и непривилегированные **пользователи** систем и сетей, а также интерфейсы взаимодействия с ними;

з) **обеспечивающие системы**».

На основании имеющихся данных предлагается при разработке модели угроз использовать следующий подход:

1. Для конкретной системы определить все возможные объекты воздействия (в соответствие с имеющейся классификацией).

2. Для каждого объекта воздействия поочередно применить каждую угрозу безопасности информации, на основании графы «Объект воздействия» каждой угрозы безопасности информации из банка данных угроз безопасности информации.

3. Для каждой угрозы безопасности информации выбрать из имеющегося перечня тактики, а затем и техники проведения компьютерных атак, оценив экспертной группой, при помощи каких тактик и техник может быть реализована каждая конкретная угроза.

Используя данный подход, мы неизбежно сталкиваемся с проблемой, заключающейся в огромном количестве вариантов, необходимых к рассмотрению экспертной группой. На 22.03.2021 в банке данных угроз безопасности информации находится 222 угрозы, а в Методическом документе 10 тактик и 145 техник. Рассматривая всего один объект воздействия, экспертная группа будет вынуждена перебрать по меньшей мере 257 тысяч 520 рассматриваемых случаев. Данная цифра является колоссальным объемом для рассмотрения, и, хотя, обеспечивает достаточно высокую точность в составлении модели угроз, требует огромного количества ресурсов.

Для решения описанной проблемы предлагается сгруппировать угрозы безопасности информации, в таком случае при анализе экспертная группа будет рассматривать тактики и техники не для каждой отдельной угрозы безопасности информации, а для групп, содержащих сразу несколько угроз безопасности информации, объединенных по определенным критериям. Сразу же возникает следующая проблема: критерии группировки угроз безопасности

информации. В общем случае, наиболее простым подходом является группировка по методу воздействия (утечка, внедрение, исследование и т.д.) или по окончному объекту воздействия (BIOS, системы защиты информации, память и т.д.). Каждый из видов категорирования, казалось бы, может быть выбран как единственный, однако при более глубоком анализе выясняется, что созданный подход не будет в полной мере изоморфен изначальному подходу т.к. некоторые корректные угрозы не будут рассмотрены экспертной группой из-за отказа от рассмотрения целой группы. В таком случае единственным способом решения проблемы является использование сразу обоих критериев группировки, однако возникает необходимость в определении очередности применения категорирования. Опыт, полученный в процессе разработки рекомендаций позволяет реализовать группировку угроз безопасности информации сначала по методам воздействия (утечка, внедрение, исследование и т.д.), а затем, для каждого метода по окончному объекту воздействия (BIOS, системы защиты информации, память и т.д.), при чем, угрозы безопасности информации не будут уникальными для каждой группы, что одновременно будет обеспечивать высокую точность при составлении модели угроз, а также значительно уменьшит ресурсы, необходимые для разработки.

Библиографический список

1. Федеральная служба по техническому и экспортному контролю, МЕТОДИКА ОЦЕНКИ УГРОЗ БЕЗОПАСНОСТИ ИНФОРМАЦИИ. – Москва, 2021.
2. Банк данных угроз безопасности информации [Электронный ресурс]. - банк данных – Москва, 2021, Федеральная служба по техническому и экспортному контролю – режим доступа: <https://bdu.fstec.ru/>.

СОДЕРЖАНИЕ

ИНФОРМАЦИЯ О IV МЕЖДУНАРОДНОМ ФОРУМЕ «СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В НАУКЕ И ОБРАЗОВАНИИ» СТНО-2021».....	3
МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ «СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В НАУКЕ И ОБРАЗОВАНИИ. РАДИОТЕХНИКА И ЭЛЕКТРОНИКА».....	5
Секция «ЦИФРОВЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ».....	5
Закревский Д.С. Цифровая трансформация деятельности автотранспортного предприятия: электронный документооборот и RFID-системы.....	5
Дворянков Д.А., Витязев С.В. Исследование статистических свойств радиосигналов в системах содействия водителю.....	10
Шевлягин С.А., Линович А.Ю. Разработка модели системы связи сигнала с QPSK модуляцией.....	15
Мордвинов А.О., Связов А.А. Устройство измерения параметров окружающей среды.....	17
Королев М.Д., Линович А.Ю. Разработка адаптивного эквалайзера для радиотелефона.....	23
Ганин С.В. Исследование насыщения вероятности ошибки для регулярных и нерегулярных LDPC кодов.....	26
Виноградов Н.С., Витязев С.В. Платформа ZYNQ – передовая элементная база цифровых информационных технологий реального времени.....	30
Кондратьев А.П. Совместимые по скорости LDPC коды на основе протографов.....	34
Чигрина Т.А. Методы оценки частотного рассогласования при приеме OFDM-сигналов.....	39
Катков П.В. Исследование возможностей процессора OMAP-L138.....	42
Калинкин И.С. Оценка эффективности процессоров ARM в задачах ЦОС.....	45

Секция «АКТУАЛЬНЫЕ ЗАДАЧИ ХИМИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ».....48

Ветшев К.А., Мельник Г.И., Рубцова А.Д.

Исследование влияния состава электролита олово-висмут на качество получаемых защитных покрытий..... 48

Воронов М.В., Лызлова М.В.

Исследование влияния избытка кислорода на потребление топлива технологическими печами процесса гидроочистки..... 52

Ветшев К.А., Воронов М.В., Лызлова М.В., Мельник Г.И., Рубцова А.Д., Трунькин Д.С.

Исследование группового состава прямогонного и гидроочищенного вакуумного газойля..... 57

Коваленко В.В., Кулавина Н.Ю., Шашкина Г.А., Ветшев К.А., Рубцова А.Д.

Моделирование разделения нефтяных фракций с использованием гипотетических компонентов..... 61

Мочалкин А., Мельник Г.И.

К вопросу применения электрохимических методов для повышения качества очистки воды на участке ХВП..... 65

Зайцев Е.А.

Переобвязка печи П-101А установки Л-24/600 с двухпоточной схемы на однопоточную.... 71

Кошелев И.И., Мельник Г.И.

Использование биполярных растворителей с целью получения ароматических углеводородов..... 76

Булекова К.А., Воробьева Е.В.

Влияние фракционного состава на производство зимнего дизельного топлива и низкотемпературные свойства при введении депрессорных присадок.....79

Снежко И.Н., Лубенников Е.А., Маслов А.Д.

Химический анализ pH, общей и временной жесткости некоторых родников и водопроводных колонок города Рязани..... 83

Коваленко В.В., Кулавина Н.Ю., Шашкина Г.А., Рыжов Н.М.

Разработка виртуальных анализаторов в условиях удаленного размещения датчиков технологических параметров..... 86

Сухарева О.И., Мельник Г.И.

Сравнение свойства биодизеля и дизельного топлива для использования его в качестве топлива..... 89

МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ**«СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В НАУКЕ И ОБРАЗОВАНИИ.****ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ».....92****Секция «СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ»..... 92**

Бабушкин И.А.

Прочностной анализ ступицы колеса из полиамида-6 для роликовых коньков..... 92

Бобылев В.Ю., Соколов М.В.

САПР в проектировании оснастки и процессов листовой штамповки..... 97

Шабанова Ю.Р. Обзор видов 3D моделирования.....	100
Анисимов К.В., Конюхов А.Н. Применение нечеткой логики в системе управления ориентацией малых спутников.....	104
Ланцов В.Н., Папулина А.П. Алгоритмы метода гармонического баланса.....	110
Куликов К.В., Гаврилов Е.П., Мельник И.С. Тензорные разложения для моделирования схем.....	114
Перепелкин Д.А., Фам А.М. Методика расчета временных и ресурсных характеристик промышленных сетей с функционально зависимыми случайными операциями.....	118
Перепелкин Д.А., Нгуен А.З. Методика определения функций распределения зависимых случайных величин в промышленных сетях.....	122
Скворцов С.В., Фетисова Т.А. Результаты экспериментального исследования многопоточных версий генетического алгоритма.....	126
Майков К.А., Смирнов Б.Н. Анализ внутренней структуры и логики получения результатов в классификаторе графовой капсульной нейронной сети.....	132
Маслова А.Д. Исследование и анализ сварочного аппарата.....	137
Теплов А.А. Обобщение и развитие методов вычисления трехмерных фрактальных структур.....	140
Перепелкин Д.А., Иванчикова М.А. Применение методов машинного обучения для классификации сетевого трафика в мультипровайдерных облачных инфраструктурах.....	144
Юдаев Ю.А. Аппроксимация полей различной физической природы при создании систем автоматизированного проектирования.....	147
Бакулева М.А. Математическая модель расчета коэффициентов соответствия уровня освоения и степени значимости компетенции.....	151
Секция «ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ И ЗАЩИТА ИНФОРМАЦИИ».....	156
Вязигин С.В., Федulina И.Н., Некрасов А.А. Эмуляция процессора как метод повышения уровня доверия к компьютерам.....	156
Попов А.С., Курицин Д.А., Кузьмин Ю.М., Калинкина Т.И. Аппаратные закладки.....	159
Смирнов В.А., Иванов В.В. Предотвращение искажений рабочей среды пользователя персонального компьютера в образовательных учреждениях.....	164

Панов А.А., Скоробогатов И.И. Информационные системы и защита информации.....	167
Амосов В.И., Зубков Д.А., Хломко В.И. Исследование функциональных возможностей и потенциальных угроз безопасности информации при использовании программно-аппаратного средства Flipper Zero.....	171
Логинова Л.Н., Меркулов Д.А. Тренажёр для обучения студентов защите данных от SQL-инъекций.....	175
Корнеев А.О., Кокорина И.В. Безопасное кодирование для систем баз данных.....	178
Бабанова Е.М. Порядок и инструменты сбора информации при проведении аудита безопасности компьютерных систем, построенных с использованием ЭВМ на ОС Linux.....	183
Зыкин А.Г. SQL-инъекции в веб-приложениях и защита от них.....	187
Питенин Д.И. Разработка рекомендаций по соотношению угроз безопасности информации техникам и тактикам проведения компьютерных атак.....	191

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В НАУКЕ И ОБРАЗОВАНИИ

Научное издание

В 10 томах

Том 3

Под общей редакцией О.В. Миловзорова.

Подписано в печать 15.06.21. Формат 60х84 1/8.

Бумага офсетная. Печать офсетная.

Гарнитура «Times New Roman».

Усл. печ. л..

Тираж 100 экз. Заказ №.

Рязанский государственный радиотехнический университет,
Редакционно-издательский центр РГРТУ,
390005, г. Рязань, ул. Гагарина, д. 59/1.
Отпечатано в типографии Book Jet,
390005, г. Рязань, ул. Пушкина, д. 18