

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-2022

**V МЕЖДУНАРОДНЫЙ НАУЧНО-
ТЕХНИЧЕСКИЙ ФОРУМ**

Сборник трудов

Том 3

Рязань
Book Jet
2022

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

Современные технологии в науке и образовании – СТНО-2022 [текст]: сб. тр. V междунар. науч.-техн. форума: в 10 т. Т.3./ под общ. ред. О.В. Миловзорова. – Рязань: Рязан. гос. радиотехн. ун-т, 2022.

ISBN 978-5-7722-0301-9

Т.3: – 196 с.,: ил.

ISBN 978-5-7722-0301-9

Сборник включает труды участников V Международного научно-технического форума «Современные технологии в науке и образовании» СТНО-2022.

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

ISBN 978-5-7722-0301-9

© Рязанский государственный
радиотехнический университет, 2022

ИНФОРМАЦИЯ О V МЕЖДУНАРОДНОМ ФОРУМЕ «СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В НАУКЕ И ОБРАЗОВАНИИ» СТНО-2022

V Международный научно-технический форум «Современные технологии в науке и образовании» СТНО-2022 состоялся 02.03.2022-04.03.2022 в г. Рязань в Рязанском государственном радиотехническом университете имени В.Ф. Уткина.

В рамках форума «Современные технологии в науке и образовании» СТНО-2022 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;
- Управление персоналом;
- Бухгалтерский учет, анализ и аудит;
- Экономическая безопасность;
- Внешнеэкономическая деятельность;

«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:

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

Богачева О.А., доцент кафедры "Государственное, муниципальное и корпоративное управление", к.полит.н., доц.;

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.;

Дмитриев В.Т., зав. кафедрой радиоуправления и связи, 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.;

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

Ключко В.К., профессор кафедры автоматике 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, д.т.н., доц.;

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

Ленков М.В., зав. кафедрой автоматизации информационных и технологических процессов, к.т.н., доц.

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

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

Меркулов Юрий Аркадьевич, ст. преподаватель кафедры "Государственное, муниципальное и корпоративное управление";

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 автоматике и информационных технологий в управлении, зав. кафедрой автоматизированных систем управления, 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 629; ГРНТИ 28.23.27

3D VISIONARY-S – ЦВЕТНЫЕ ПЕРСПЕКТИВЫ ТОЧНОЙ СКЛАДСКОЙ АВТОМАТИЗАЦИИ

Д.Р. Костеневич

*Белорусский национальный технический университет,
Республика Беларусь, Минск, polinaruslan@mail.ru*

Аннотация. В данной работе рассматривается проблема неполной комплектации тары, которую можно решить, используя датчики машинного зрения 3D Visionary-S. Приводятся их описание, инструкция работы, основные преимущества, а также описаны результаты внедрения данных технологий в рабочий процесс на складе.

Ключевые слова: датчики 3D Visionary-S CX, машинное зрение, складская логистика, визуализация, автоматизация.

3D VISIONARY-S - COLOR PERSPECTIVES OF PRECISE WAREHOUSE AUTOMATION

D.R. Kastsianevich

*Belarusian national technical university,
Republic of Belarus, Minsk, polinaruslan@mail.ru*

The summary. This article discusses the problem of incomplete packaging, which can be solved using 3D Visionary-S machine vision sensors. Their description, work instructions, main advantages are given, as well as the results of the introduction of these technologies into the workflow in the warehouse are described.

Keywords: 3D Visionary sensors-S CX, machine vision, warehouse logistics, visualization, automatization.

Автоматизация – одна из главных тенденции в логистической отрасли сегодня. Прежде всего, эта тенденция обусловлена стремительным развитием онлайн-торговли и мировой нехватки специалистов в сфере логистики, а именно, это касается операторов складской техники.

Складская логистика и грузовые центры – это две области, в которых автоматизированные решения предлагают большой потенциал для повышения эффективности и производительности. Растущие объемы товаров с комплексным управлением возвратами, строго синхронизированные процессы доставки, сокращение времени обработки и сложные складские условия – все это требует автоматизированных управляемых систем, работающих автономно.

Оптимизация складских процессов требует комплексного подхода. Существует два компонента, которые необходимо учитывать при оптимизации процесса комплектации. Во-первых, на данный момент не существует единой стратегии или технологии, которая была бы универсальной и применимой в каждом конкретном случае. Во-вторых, для эффективной оптимизации складских операций требуется сочетание нескольких инструментариев, включая сбор данных, усовершенствование процессов и современные технологии [1].

В последнее время существует проблема неполных поставок, которая возникает при неправильной или неточной комплектации тары. Именно поэтому на данном этапе автоматизация должна быть особенно гибкой. Одним из перспективных решений для автоматизации

комплектации тары могут стать 3D датчики машинного зрения, которые на данный момент редко используются в Республике Беларусь.

Системы машинного зрения в виде видеокамер разработаны как датчики изображения на основе нескольких основных методов его обработки. Эволюция производительности позволила использовать системы машинного зрения не только для распознавания объектов (первоначально здесь были более распространены 2D-системы), но и с развитием технологии 3D-технологий, для LIDAR, основанных на специфических несканирующих технологиях. Одной из таких технологий является 3D-снимок от немецкой компании SICK.

Благодаря короткому времени реакции датчик машинного зрения 3D Visionary-S CX идеально подходит для быстрой роботизированной комплектации тары. Функция распознавания цвета — наряду с высокой точностью на глубине — позволяет надежно идентифицировать сложное содержимое: например, большое количество предметов в таре или объекты одинакового размера, отличающиеся друг от друга только по цвету (рис. 1). Кроме того, данные датчика Visionary-S CX о глубине также позволяют контролировать уровень заполнения и распознавать ориентацию тары.

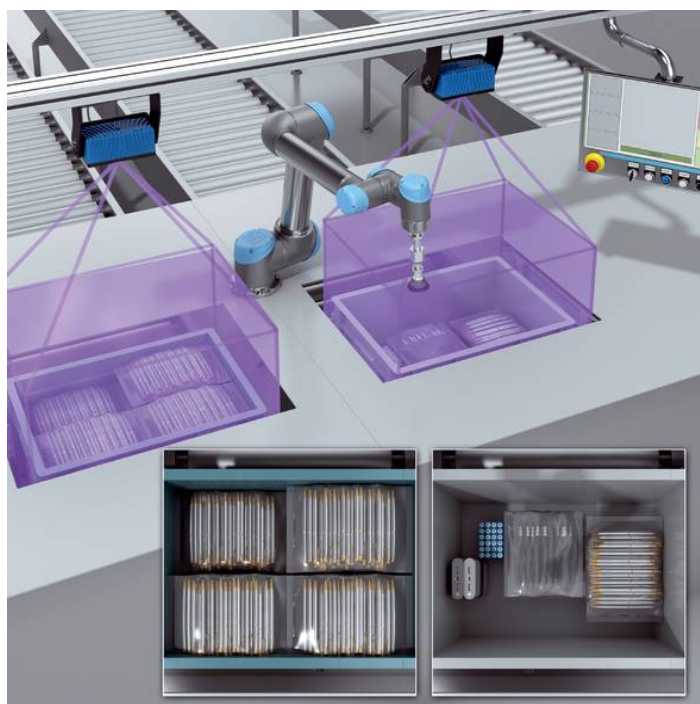


Рис. 1. Пример использования датчиков Visionary-S CX на складе

3D-камера Visionary-S компании SICK сочетает в себе преимущества стереовидения и проецируемого структурированного освещения для получения до 30 трехмерных изображений высокого разрешения в секунду. Для подсветки в системе используется инфракрасный лазер класса 1 (EN/IEC 60825-1:2014; EN/IEC 60825-1:2007) с длиной волны 808 нм.

Система Visionary-S имеет рабочий диапазон 0,5–2,5 м, класс защиты оболочки IP67 и диапазон рабочих температур 0...+50 °С. Она соответствует требованиям по электромагнитной совместимости (EN 61000-6-2:2005-08, EN 61000-6-3:2007-01), ударопрочности (EN 60068-2-27:2009) и виброустойчивости (EN 60068-2-6, EN 60068-2-64), что делает ее идеальной для широкого спектра применения в промышленности и логистике.

Также система Visionary-S не требует программного драйвера и выводит значений цвета и глубины непосредственно на программируемый логический контроллер (ПЛК) или контроллер робота. Это делает систему оптимальной для роботизированной сборки, паллетиро-

вания и удаления поддонов, а также для высокоскоростных систем контроля качества и комплектности потребительских товаров.

Высокоэффективное структурированное освещение Visionary-S обеспечивает надежные данные о глубине в условиях окружающего освещения. К преимуществам данных систем относятся:

- мощные инструменты визуализации,
- широкая поддержка распространенных протоколов связи и языков программирования (Python, C++, C#);
- до 30 изображений в секунду с глубиной цвета;
- работа в полной темноте и при дневном свете до 40 KLX;
- разрешение: 640 px x 512 px;
- субмиллиметровое разрешение по глубине;
- вывод цветных 3D-данных через гигабитный Ethernet-интерфейс;
- диапазон температур: от 0 °C до 50 °C (в зависимости от корпуса),
- степень защиты: IP67;
- режим HDR – это особый метод фотосъемки, при котором камера смартфона последовательно делает несколько кадров с разной выдержкой и экспозицией, а затем объединяет их в одно изображение [2].

На данный момент точного аналога датчика не существует, поэтому этот продукт уникален. Упомянутые ранее преимущества заключаются в том, что, помимо предоставления реальных систем 3D-видения, компания SICK предлагает соответствующее программное обеспечение, техническую поддержку и широкий ассортимент аксессуаров: кабели, крепежи, средства по уходу и соединительные модули.

Стоимость датчика машинного зрения 3D Visionary-S CX составляет около 25 000 BYN. Количество датчиков определяется исходя из производственной мощности склада. Величина производственной мощности, которую может обработать один датчик эквивалентна 50 тоннам в год. Тогда, если производственная мощность склада составляет 300 тонн, для оснащения склада необходимо 6 датчиков ($300/50$). Затраты составят $25\,000 \cdot 6 = 150\,000$ BYN.

Настроить параметры камеры и фильтра легко, необходимые операции можно выполнить при помощи программного инструмента конфигурации SOPAS ET от компании SICK, кроме того, имеется интерфейс Telegram.

Программное обеспечение для проектирования SOPAS ET ищет и отображает подключенные датчики SICK уже при запуске. Найденные датчики можно выборочно интегрировать в проект. При этом SOPAS ET автоматически устанавливает соединение и соответствующие драйверы. При отсутствии драйверов они загружаются из Интернета или напрямую с датчика. Это исключает трудоемкий поиск, установку драйверов и специальное обучение системных администраторов на складе [3].

На складе за осуществление контроля груза на соответствие количества и качества отвечает контролер-комплектовщик. Поскольку данную функцию выполняет датчик машинного зрения 3D Visionary-S CX можно снизить нагрузку или сократить численность сотрудников данной профессии. Один датчик может заменить 3 контролера-комплектовщика. В результате, при внедрении 6 датчиков машинного зрения штатное количество работников сократится на 18 человек. Предположив, что месячный фонд заработной платы контролера-комплектовщика составляет 1200 рублей в месяц, при сокращении штатного количества работников и покупке датчиков машинного зрения предприятие сократит свои расходы на 109 200 рублей в год ($1200 \cdot 18 \cdot 12 - 150\,000$).

Точный уровень доходов предсказать сложно. Однако, можно утверждать, что прибыльность компании повысится за счёт использования датчиков, повышающих уровень качества предоставляемых товаров и услуг, что, в свою очередь, привлечёт новых клиентов.

Для привлечения клиентов их необходимо проинформировать о нововведении, внедренное на предприятие, путем грамотной рекламы. Таким образом, в связи с увеличением спроса на оказание услуг, уровень дохода увеличится, несмотря на снижение себестоимости этих услуг.

Таким образом, со временем, используя датчики машинного зрения 3D Visionary-S CX, можно полностью исключить использование ручного труда для выполнения рутинных механических операций, добиваясь при этом более точных результатов, повышая уровень качества логистического сервиса. Кроме того, применение машинного зрения позволит увеличить круглосуточное производство и значительно снизить себестоимость услуг или продукции.

Библиографический список

1. Машинное зрение в 3D [Электронный ресурс]. Электронные данные. – Режим доступа: <https://controlengrussia.com/tehnicheskoe-zrenie/tof/>. – Дата доступа: 16.02.2022.
2. Комплектация тары: управление роботами и их ориентирование с помощью датчиков машинного зрения 3D [Электронный ресурс]. Электронные данные. – Режим доступа: <https://www.sick.com/pl/ru/industries/retail-and-warehousing/picking/-3d/c/p657930>. – Дата доступа: 16.02.2022.
3. Робототехника в складской логистике [Электронный ресурс]. Электронные данные. – Режим доступа: <https://www.retail.ru/rbc/pressreleases/yungkhaynrikh-podemno-pogruzochnaya-tehnika-robototekhnika-v-sfere-skladskoy-logistiki/>. – Дата доступа: 16.02.2022.

УДК 621.396.669; ГРНТИ 49.31

ГРЕБЕНЧАТЫЕ АДАПТИВНЫЕ ФИЛЬТРЫ В МНОГОКАНАЛЬНЫХ СИСТЕМАХ ПОДВИЖНОЙ РАДИОСВЯЗИ

М.Д. Королёв

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

Аннотация. Рассматривается принцип построения адаптивных фильтров, а также разработка гребенчатого адаптивного фильтра для многоканальной системы связи и приводятся результаты моделирования.

Ключевые слова: адаптивный фильтр, подсистема анализа, межсимвольная интерференция.

COMBED ADAPTIVE FILTERS IN MULTICHANNEL MOBILE RADIO COMMUNICATION SYSTEMS

M.D. Korolev

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

Annotation. A principle of the adaptive filters design and developing of the comb adaptive filter for the multichannel communication system are considered and simulation results are presented.

Keywords: adaptive filter, analysis subsystem, intersymbol interference.

В системах адаптивной фильтрации широкое применение получила многоскоростная обработка сигналов, которая дает возможность уменьшить вычислительные затраты разрабатываемой системы, а также наиболее эффективно обрабатывать сам сигнал [1].

Существует множество примеров применения гребенчатых адаптивных фильтров для решения различных задач, например, для подавления эха [4] или для подавления шума [5], в рамках данной работы ставится задача построения гребенчатого адаптивного фильтра (эквалайзера) в многоканальных системах подвижной радиосвязи для борьбы с межсимвольной интерференцией, возникающей в результате отражения сигналов в канале связи.

Для борьбы с межсимвольной интерференцией существует два типа построения адаптивных фильтров: с обратной связью (рисунок 1) и без обратной связи (рисунок 2)

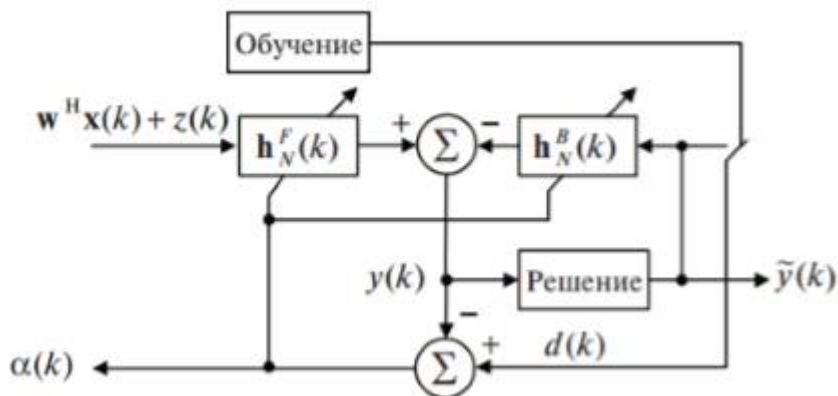


Рис. 1. Адаптивный фильтр с обратной связью

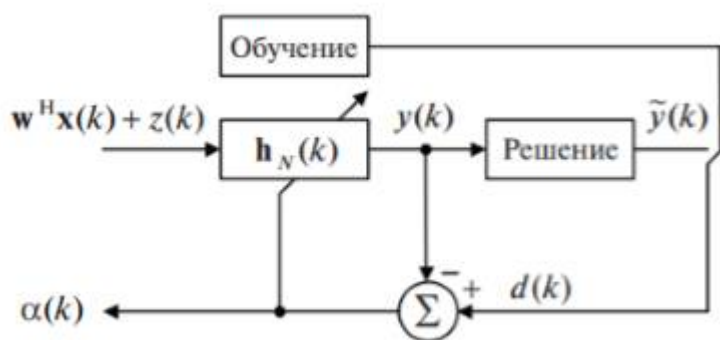


Рис. 2. Адаптивный фильтр без обратной связи

Известно, что фильтры с обратной связью выравнивают частотные характеристики лучше, так как выходной сигнал таких фильтров после обучения частично формируется из уже ранее принятых «верных» отсчетов сигнала [3]. В данной работе используется фильтр без обратной связи, это обусловлено, тем что такой фильтр прост в технической реализации, а, следовательно, экономичнее в вычислительных затратах.

Разработка структурной схемы гребенчатого адаптивного фильтра

Как известно, гребенчатым фильтром принято называть фильтр, если в диапазоне частот $0 \leq \omega \leq 2\pi$ его частотная характеристика $H_m(e^{j\omega t})$ является периодической. Соответственно необходима подсистема анализа, которая разбивала бы входной сигнал на V поддиапазонов в зависимости от числа каналов, таким образом амплитудно-частотная характеристика (АЧХ) подсистемы анализа для четырех каналов будет выглядеть следующим образом (рисунок 3):

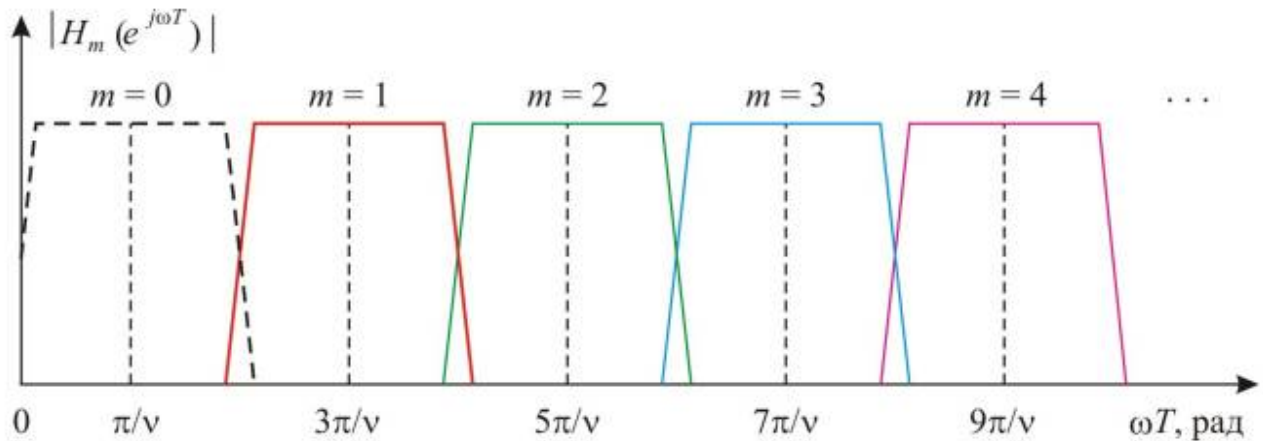


Рис. 3. АЧХ подсистемы анализа

В [3] рассмотрено множество алгоритмов настройки адаптивных фильтров, в данной работе критерием минимума средне квадратической ошибки (СКО). Согласно [2] алгоритм включает 3 шага:

1. Фильтрация: $y[nT] = w^H[nT]x_D[nT]$

2. Вычисление сигнала ошибки: $e[nT] = d[nT] - y[nT]$

3. Обновление вектора весовых коэффициентов: $w[(n+1)T] = w[nT] + \mu x_D[nT]e^*[nT]$, где $d[nT]$ — обучающий сигнал;

$x[nT]$ — вектор отсчётов входного сигнала, накопленных в момент времени nT в линии задержки фильтра.

Тогда схема гребенчатого адаптивного фильтра выглядит следующим образом (рисунок 4) [2]:

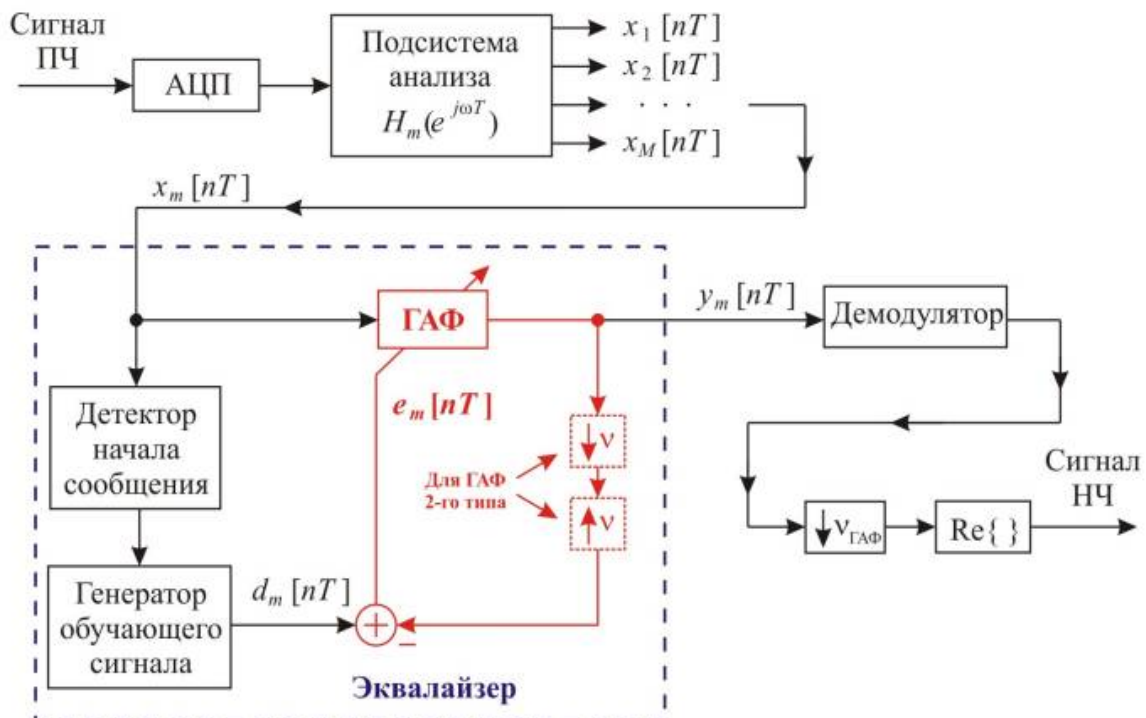


Рис. 4. Структурная схема гребенчатого адаптивного фильтра

Подробнее с двумя разработанными алгоритмами можно ознакомиться в [2].

Принцип работы следующий: каждый из выделенных подсистемой анализа сигналов $x_m[nT]$ обрабатывается эквалайзером m -го канала. Детектор начала сообщения предназначен для обнаружения заголовка сообщения корреляционным методом. Как только заголовок обнаружен, запускается генератор обучающего сигнала, на выходе которого вырабатывается сигнал $d_m[nT]$. Выход ГАФ $y_m[nT]$ сравнивается с обучающим сигналом $d_m[nT]$, и по полученной разности этих сигналов (сигналу ошибки) выполняется настройка ГАФ по алгоритму, предложенному выше. С выхода эквалайзера сигнал $y_m[nT]$ поступает на демодулятор, состоящий из квадратичного детектора и ФНЧ. Далее частоту дискретизации можно понизить для сокращения вычислительных затрат.

Результаты моделирования

Экспериментальные исследования были проведены в программе Simulink, где была собрана модель системы подвижной связи и проводилось сравнение двух фильтров между собой, а также с фильтром, работающим по алгоритму НСК (наименьших средних квадратов). Сравниваемыми параметрами были точность и скорость настройки алгоритмов. Для этого были получены обучающие кривые, представленные на рисунке 5. Стоит отметить, что эксперимент проводился для одного и того же случайно выбранного канала при отношении сигнал-шум 30дБ.

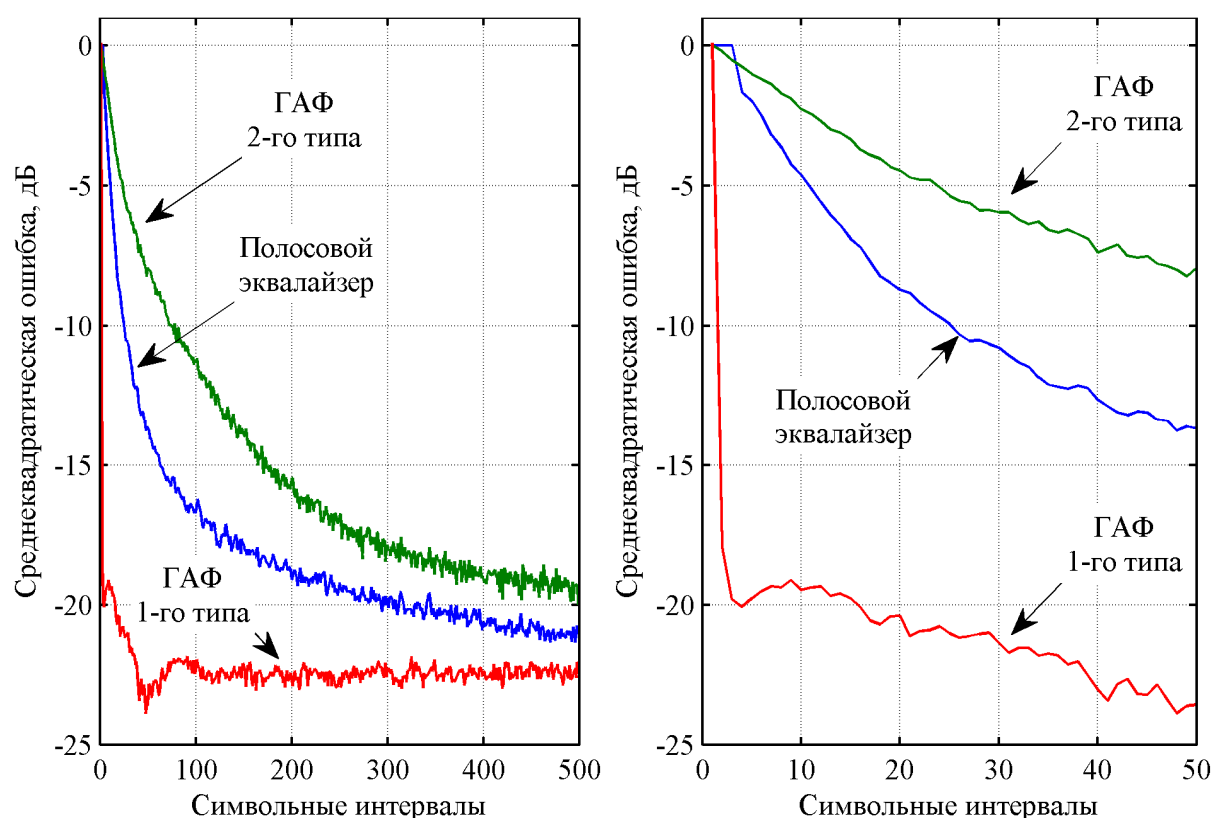


Рис. 5. Среднеквадратическая ошибка

Как видно из рисунка 5, гребенчатый адаптивный фильтр первого типа является самым быстрым и точным, но проигрывает по частоте появления ошибок, а гребенчатый адаптивный фильтр второго типа, наоборот, лучший в частоте появления ошибок, но худший в качестве настройки.

В данной работе был рассмотрен принцип построения гребенчатых адаптивных фильтров.

С помощью проведенных экспериментов был получен следующий результат - ГАФ первого типа по скорости адаптации превосходят в 10 раз ГАФ второго типа.

Библиографический список

1. В.В.Витязев, Многоскоростная обработка сигналов: Москва, Горячая линия – Телеком, 2017. - 336 с.
2. А. Ю. Линович. Алгоритм гребенчатой адаптивной фильтрации / А. Ю. Линович, В. С. Литвинова, М. Д. Королев. // Вестник РГРТУ. 2021. № 77. – С.3-14.
3. В.И Джиган. Адаптивная фильтрация сигналов: теория и алгоритмы: Москва: Техносфера, 2013. -528 с.
4. Уидроу Б Адаптивная обработка сигналов / Б. Уидроу, С. Стирнз – Радио и связь, Москва, 1989. – 264 с
5. Адаптивные фильтры: Пер. с англ./Под ред. К. Ф. Н. Коузэна и П. М. Гранта. – М.: Мир, 1988. – 392 с

УДК 621.396; ГРНТИ 49.29

ОПТИМИЗАЦИЯ ХРАНЕНИЯ КОДОВОГО СЛОВА В LDPC ДЕКОДЕРЕ НА FPGA

Н.С. Виноградов, С.В. Витязев

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

Аннотация. В работе рассматривается способ оптимизации хранения кодового слова в LDPC декодере, реализуемом на FPGA.

Ключевые слова: код с малой плотностью проверок на чётность (LDPC), программируемая пользователем вентильная матрица (FPGA), таблица соответствия (LUT), триггер (FF).

OPTIMIZATION OF CODEWORD STORAGE IN LDPC DECODER ON FPGA

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 paper considers a method for optimizing the storage of a code word in an LDPC decoder implemented on an FPGA.

Keywords: Low Density Parity Check Code (LDPC), Field Programmable Gate Array (FPGA), Lookup Table (LUT), Flip-Flop (FF).

При реализации алгоритмов кодирования/декодирования на FPGA возникает задача оптимизации ресурсов с целью повышения эффективности работы устройства, снижения его стоимости, расширения функциональных возможностей. Целью данной работы является оптимизация способа организации хранения кодовых слов LDPC-декодера, позволяющая более экономично расходовать ресурсы FPGA.

В качестве примера был рассмотрен LDPC декодер, представленный в статье [1]. В данной статье рассматривается реализация LDPC декодера на SoC Zynq-7000 с FPGA Virtex-7. Упрощенная структура LDPC декодера представлена на рис. 1. В состав декодера входят следующие блоки: Memory Block – блок хранения кодового слова, Decoding Block – блок, реализующий декодирование блоков данных, Hard Decisions – блок принятия жестких решений, Control Block – блок управления. В качестве алгоритма декодирования используется алгоритм min/submin.

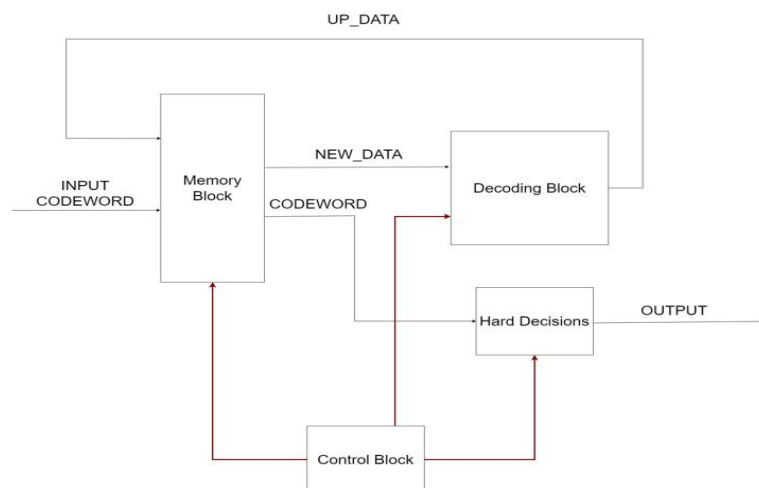


Рис. 1. Структура LDPC декодера

Декодер в [1] был реализован для работы с матрицами стандарта WiMAX (IEEE 802.16e) и WiFi (IEEE 802.11n), декодирование реализовано по слоям. Пример проверочной матрицы WiMAX из [2] со скоростью кодирования 1/2 представлен на рисунке 2. Для представленной матрицы длина кодового слова составляет 2304 бита, а размер циркулянта равен 96. Декодирование по слоям означает, что сначала берутся блоки данных, указанные в матрице в первой строке, обрабатываются и записываются обратно в память, а затем то же самое производится для всех остальных строк матриц (слоев).

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
1		94	73						55	83			7	0										
2		27				22	79	9				12		0	0									
3				24	22	81		33				0			0	0								
4	61		47						65	25						0	0							
5			39				84			41	72						0	0						
6					46	40		82				79	0					0	0					
7			95	53						14	18								0	0				
8		11	73				2			47										0	0			
9	12				83	24		43				51									0	0		
10						94		59			70	72										0	0	
11			7	65					39	49													0	0
12	43					66		41				26	7											0

Рис. 2. Проверочная матрица WiMAX со скоростью кодирования 1/2

По результатам синтеза LDPC декодера одним из наиболее ресурсоемких блоков является блок хранения кодового слова (Memory Block). Данный блок занимает примерно 69% ресурсов LUT от всех ресурсов LUT, занимаемых LDPC декодером. В таблице 1 представлены занимаемые ресурсы для LDPC декодера и блока memory block.

Таблица 1. Занимаемые ресурсы FPGA для LDPC декодера и memory block

Ресурсы FPGA	LUT	Slice Registers (FF)
LDPC декодер	188147	102877
Memory block	130542	32160

В данной статье была реализована оптимизация memory block. Данный блок выполняет 4 основные функции: запись нового кодового слова (codeword), выдача новых блоков данных (new_data), обрабатываемых на текущем слое, запись обработанных блоков данных (up_data), выдача декодированного кодового слова для блока hard decisions. В memory block хранятся кодовое слово, состоящее из апостериорных данных, то есть каждые из 2304 символов представлен мягкими решениями из нескольких бит. В статье [1] количество бит на каждый символ равно 4. Таким образом, кодовое слово для указанной матрицы и количества разрядов на символ, составляет $2304 * 4 = 9216$ бит.

В memory block кодовое слово хранится разбитое на блоки данных (data blocks). Количество блоков данных определяется количеством столбцов матрицы. Для данного примера количество блоков данных равно 24. Размер циркулянта определяет количество мягких решений (soft decisions) хранящихся в одном блоке данных. Принцип хранения блоков данных в memory block представлен на рисунке 3.

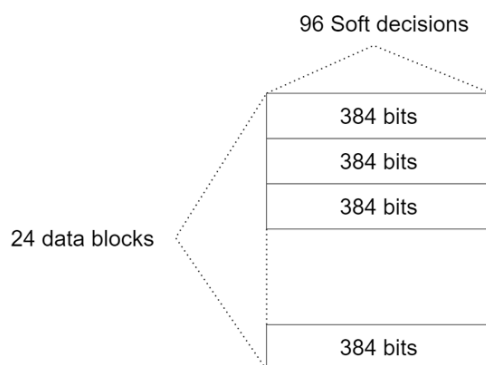


Рис. 3. Принцип хранения блоков данных в Memory Block

В результате исследования была выявлена причина, по которой memory block занимает столь большое количество ресурсов. Причина состоит в том, что в результате декодирования каждого слоя лишь 6(7) из 24 блоков данных считываются в выходные регистры new_data. Количество считываемых блоков данных на каждом слое определяется матрицей – количество непустых клеток в строке (слое). При таком подходе нет однозначного соответствия между выходными регистрами memory block для new_data и хранимыми блоками данных, в результате чего синтезатор строит связи между всеми 24 блоками данных и 7 выходными регистрами, что порождает использование ресурсов FPGA типа LUT. Пример описанного подхода представлен на рисунке 4. Похожая проблема существует и при записи обновленных блоков данных из регистров up_data в memory block, но для удобства рассмотрим лишь чтение блоков данных в регистры new_data.

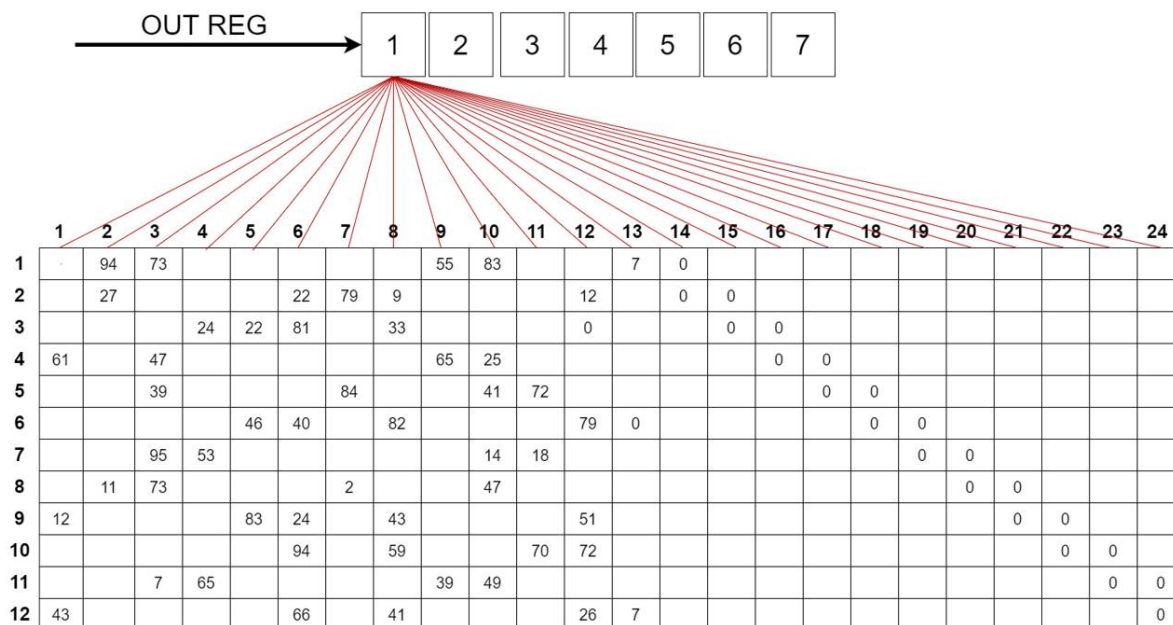


Рис. 4. Пример построения связей между блоками данных и выходными регистрами new_data для memory block

В результате исследования было найдено решение данной проблемы. При перестановке столбцов матрицы можно получить группы столбцов, такие, что большинство групп столбцов будут связаны только с одним выходным регистром new_data. Пример такого подхода можно увидеть на рисунке 5.

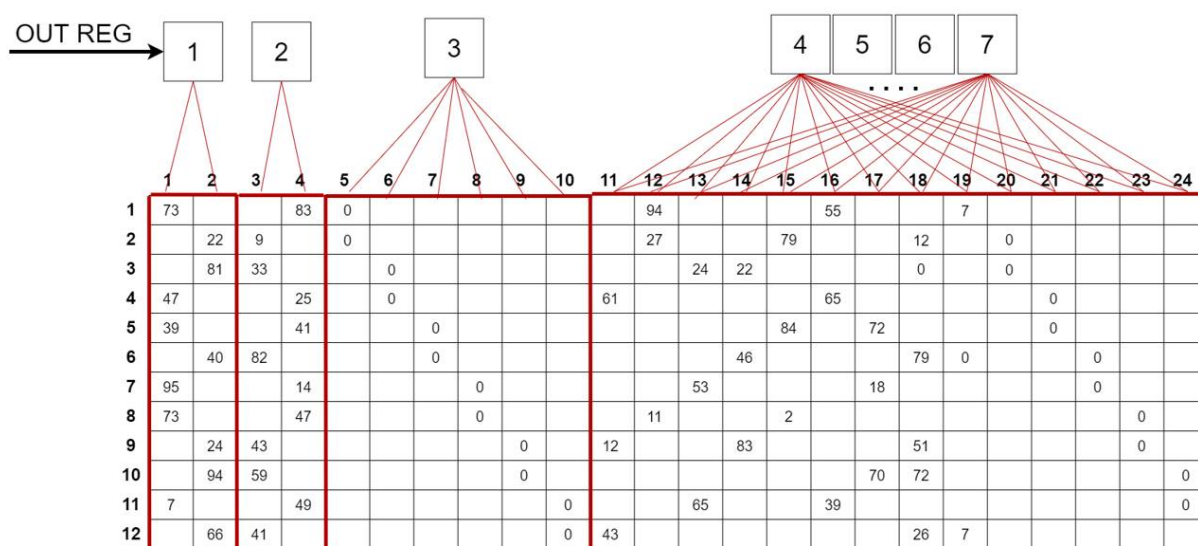


Рис. 5. Объединение столбцов в группы для матрицы WiMAX со скоростью кодирования 1/2

Как можно видеть на рис. 5 для представленной матрицы удалось выделить 4 группы столбцов, 3 из которых связаны лишь с одним выходным регистром new_data, а последняя группа столбцов связана с 4 выходными регистрами new_data. При использовании такого подхода количество связей между хранимыми блоками данных и выходными регистрами new_data значительно уменьшается, что обеспечивает меньшее использование ресурсов

FPGA для memory block. В таблице 2 приведены ресурсы, занимаемые memory block, до представленной оптимизации и после.

Таблица 2. Ресурсы FPGA занимаемые memory block до и после оптимизации

Ресурсы FPGA	LUT	Slice Registers (FF)
Memory Block до оптимизации	130542	32160
Memory Block после оптимизации	60830	58983

Представленная оптимизация обеспечила уменьшения использования ресурсов LUT более чем в 2 раза. Стоит обратить внимание, что количество же FF увеличилось практически в 2 раза. Это связано с дополнительной логикой, осуществляющей перестановку блоков данных в соответствии с рис. 5. От перестановки блоков данных можно отказаться, но для этого необходимо переписать блок hard decisions для того, чтобы при принятии жестких решений он восстанавливал бы правильный порядок блоков данных. Такой подход избавит от прироста ресурсов FF, однако, так как LUT на практике чаще всего бывают более ценными и их количество значительно меньше, чем количество FF, то было принято решение оставить перестановку блоков данных в блоке memory block.

Таким образом, был реализован эффективный способ оптимизации хранения кодовых слов в memory block, однако данный способ оптимизации предъявляет новое требование к проверочным матрицам: возможность группировки столбцов матрицы в наибольшее количество групп.

Библиографический список

1. R. Goriushkin, P. Nikishkin, E. Likhobabin, V. Vityazev, "FPGA Implementation of LDPC Decoder Architecture for Wireless Communication Standards", 2021 10th International Conference on Modern Circuits and Systems Technologies (MOCAST), Thessaloniki, Greece, 2021
2. K. Zhang, X. Huang, Z. Wang, "High-Throughput Layered De-coder Implementation for Quasi-Cyclic LDPC Codes", 2009, IEEE Journal on Selected Areas in Communications. 27. 985-994. DOI:10.1109/JSAC.2009.090816

УДК 621.396; ГРНТИ 49.29

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ДЕКОДЕРОВ НА ПОРОГ НАСЫЩЕНИЯ ОШИБКИ LDPC КОДОВ

С.В. Ганин

*Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань, ganin.s.v@tor.rsreu.ru*

Аннотация. В работе рассматривается LDPC код используемый из стандарта DVB-S2 на предмет наличия в нём наборов ловушек и приводятся возможные методы борьбы с низким отношением сигнал шум в областях положительных отношений уровня шума к передаваемому символу, вызванного явлением насыщения ошибки.

Ключевые слова: Ловушки, LDPC код, насыщение ошибкой.

EVALUATION OF THE DECODER EFFECT ON THE SATURATION THRESHOLD OF LDPC ERROR 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 LDPC code used from the DVB-S2 standard for the presence of trap sets in it and provides possible methods to combat low signal-to-noise ratio in areas of positive noise-to-transmitted symbol ratios caused by the error saturation phenomenon.

Keywords: Traps, LDPC code, error saturation.

Коды LDPC (Low-Density-Parity-Check) с проверкой на чётность, впервые введенные Галлагером в 1962 году достигают производительность близкую к пределам Шеннона, за счёт итеративного декодирования. Они широко используются в стандартах систем связи и вещания, где необходим низкий уровень ошибок, таких как DVB-S2, DVB-T2, IEEE 802.16e и IEEE 802.11n благодаря своей производительности и низкой сложности декодирования.

Однако для LDPC кода характерно наличие так называемых порогов насыщения. Суть этого явления сводится к тому, что кривая производительности LDPC кода разделяется на две области, область водопада, где происходит резкое снижение уровня ошибок, и области насыщения ошибки где кривая производительности имеет тенденцию к сглаживанию. Это демонстрируется на Рисунке 1, где представлен график производительности с кодом, используемым в стандарте DVB-S2 со скоростью 2/3. График получен с помощью программы MatLab.

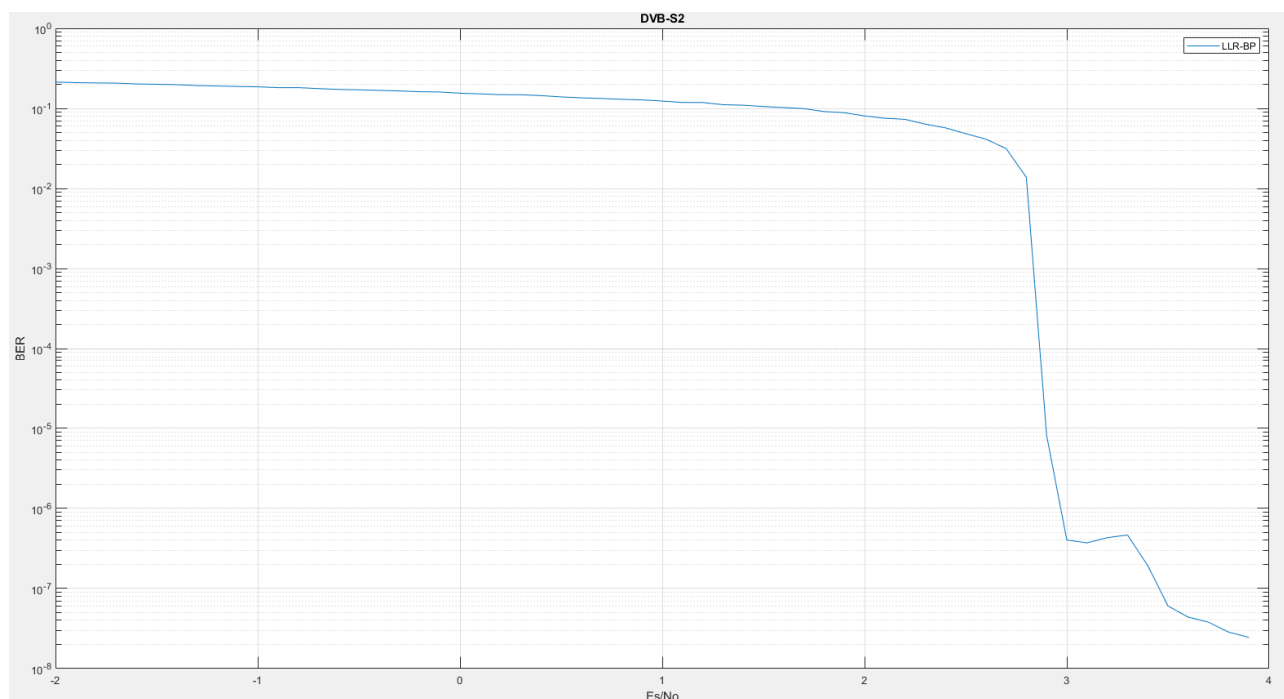


Рис. 1. График производительности LDPC кода стандарта DVB-S2

Явление насыщения ошибки как таковое вызвано наличием в коде так называемого набора ловушек. Как известно, LDPC коды определяются двудольными графами, которые состоят их переменных, проверочных узлов и соответствующих рёбер. Набор ловушек(a,b) может быть определён как набор переменных узлов, которые имеют b контрольных узлов нечетной степени в индуцированном подграфе. Наиболее вредными из них называют доминантными наборами ловушек. Когда a и b малы, ошибки в каждом проверочном узле приводят к ошибкам проверки чётности b, и это как правило приводит к ситуациям, из которых итеративный декодер не в состоянии выйти. Они часто состоят из одного или нескольких циклов, состоящих из переменных узлов низкой степени и соединёнными с ними проверочными узлами.

В выше продемонстрированном коде, в работе [1] представлены ловушки, имеющиеся в данном коде. Визуальные примеры наборов захвата (a,0) и (a,1) представлены на Рисунке 2. На рисунке кружок представляет переменные узлы, а квадраты с крестом проверочные узлы соответственно.

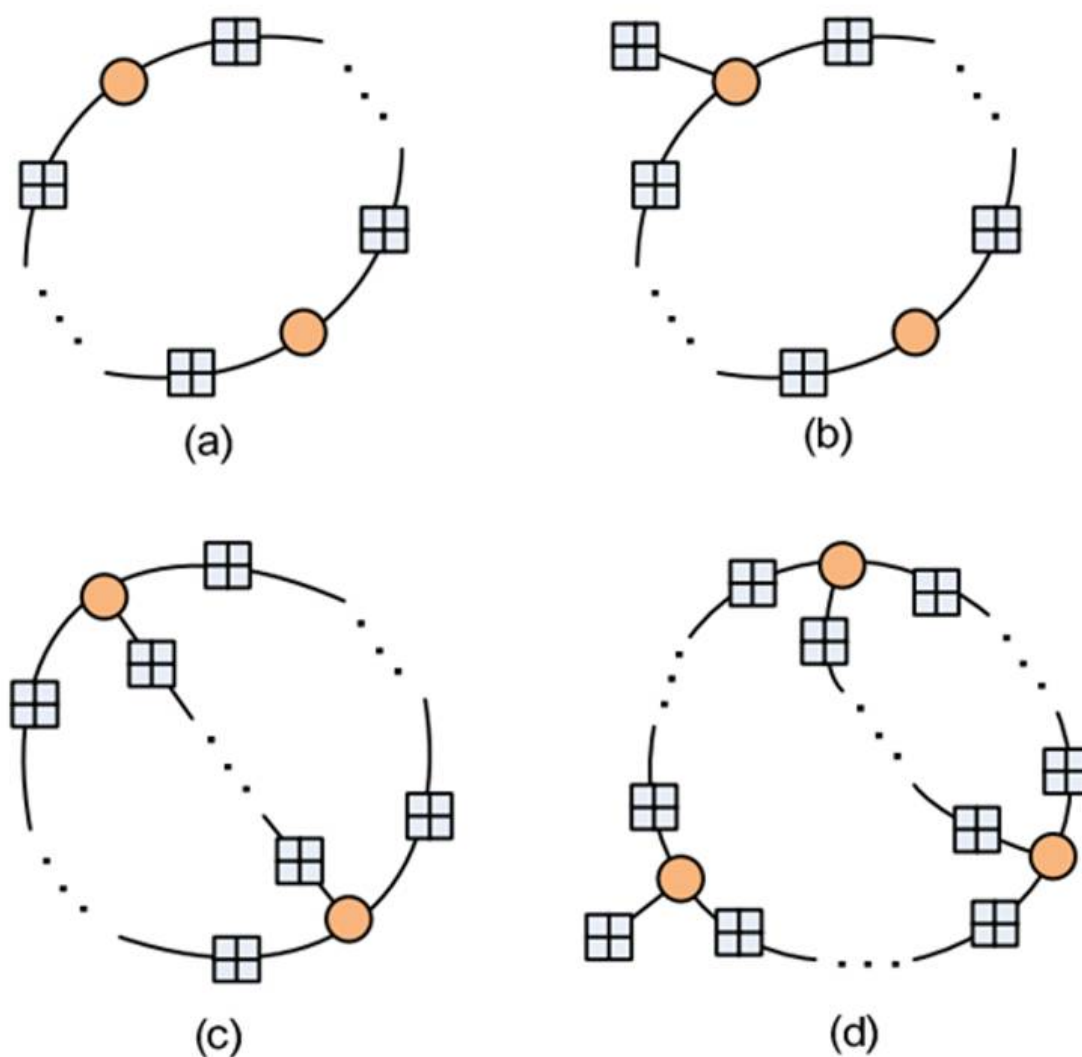


Рис. 2. (a) (a,0) структура набора ловушек без переменных узлов степени 3
 (b) (a,1) структура набора ловушек с одним переменным узлом степени 3
 (c) (a,0) структура набора ловушек с двумя переменными узлами степени 3
 (d) (a,1) структура множества ловушек с тремя переменными узлами степени 3

В предложенной матрице основное влияние на производительность оказывают ловушки, представленные на рисунке 3.

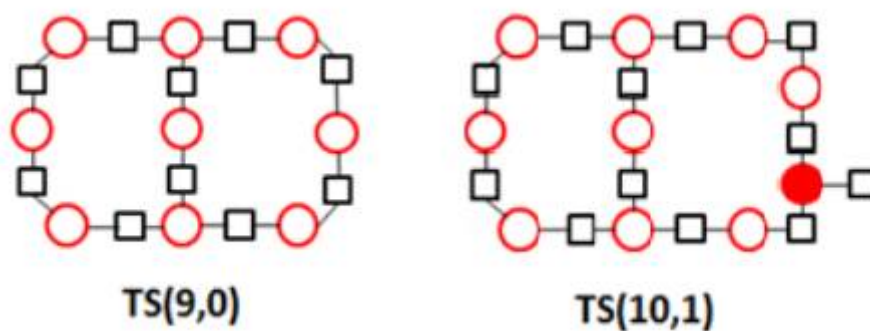


Рис. 3. Доминирующие ловушки в коде стандарта DVB-S2 2/3

Использование различных декодеров

При борьбе с явлением насыщения ошибки можно выделить 3 подхода. Первый заключается в создании LDPC матриц по принципам, которые позволяют изначально получить код без вредоносных ловушек. Второй подразумевает исследование уже сгенерированной матрицы на предмет наличие в ней наборов ловушек и их нейтрализацию путём замены переменных узлов. Третий гласит, что зная какие вредоносные ловушки присутствуют в передаваемой матрице, возможно их игнорирование путём использования различных алгоритмов декодирования.

В качестве одной из мер борьбы с явлением насыщения ошибки является использование различных реализаций итерационных декодеров. Для моделирования было выбрано свободно распространяемое программное обеспечение aff3ct[2]. Оно позволяет использовать ряд декодеров таких как, BP Flooding [4], BP horizontal layered[5], BP vertical layered, а так же различные варианты их реализации.

Результаты моделирования представлены на следующих слайдах.

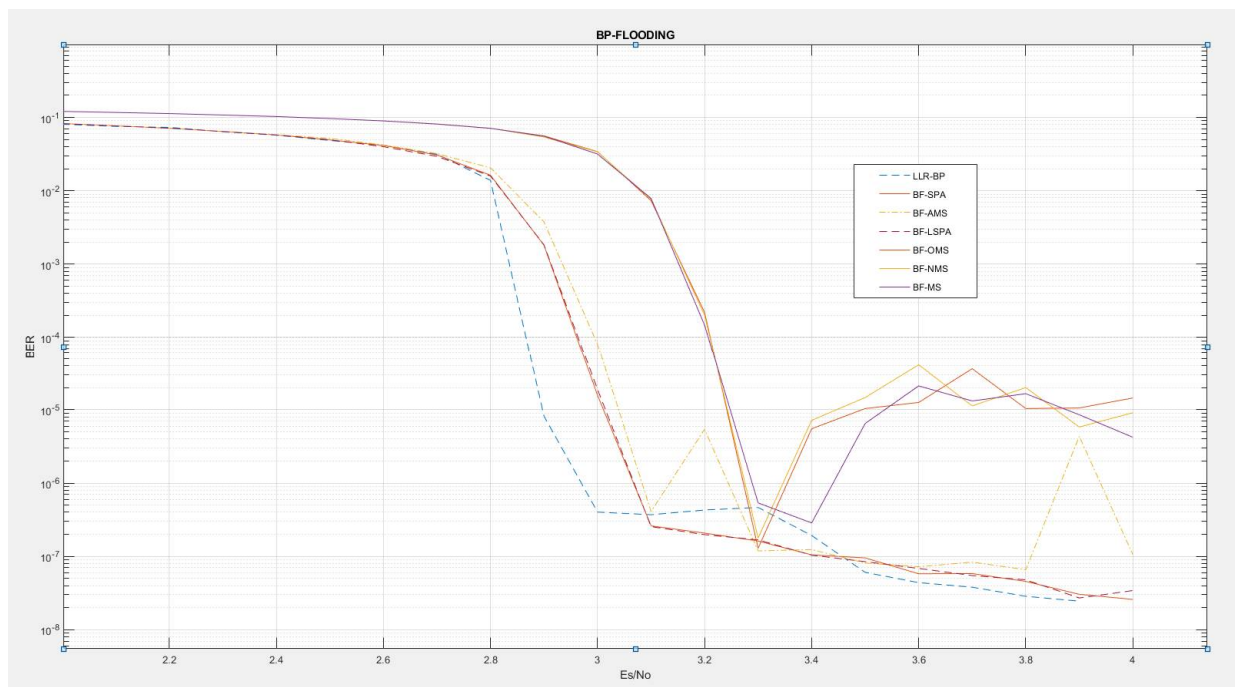


Рис. 4. Производительность декодера BP-Flooding в различных реализациях

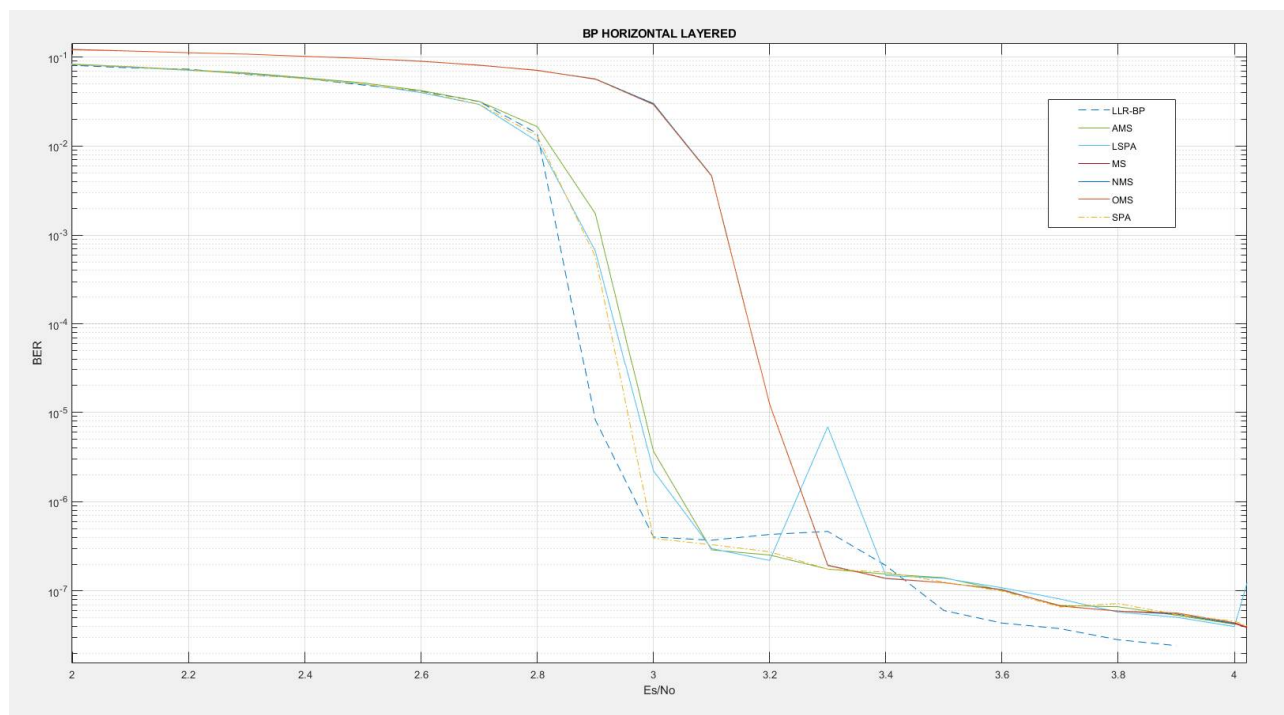


Рис. 5. Производительность декодера BP HORIZONTAL LAYERED

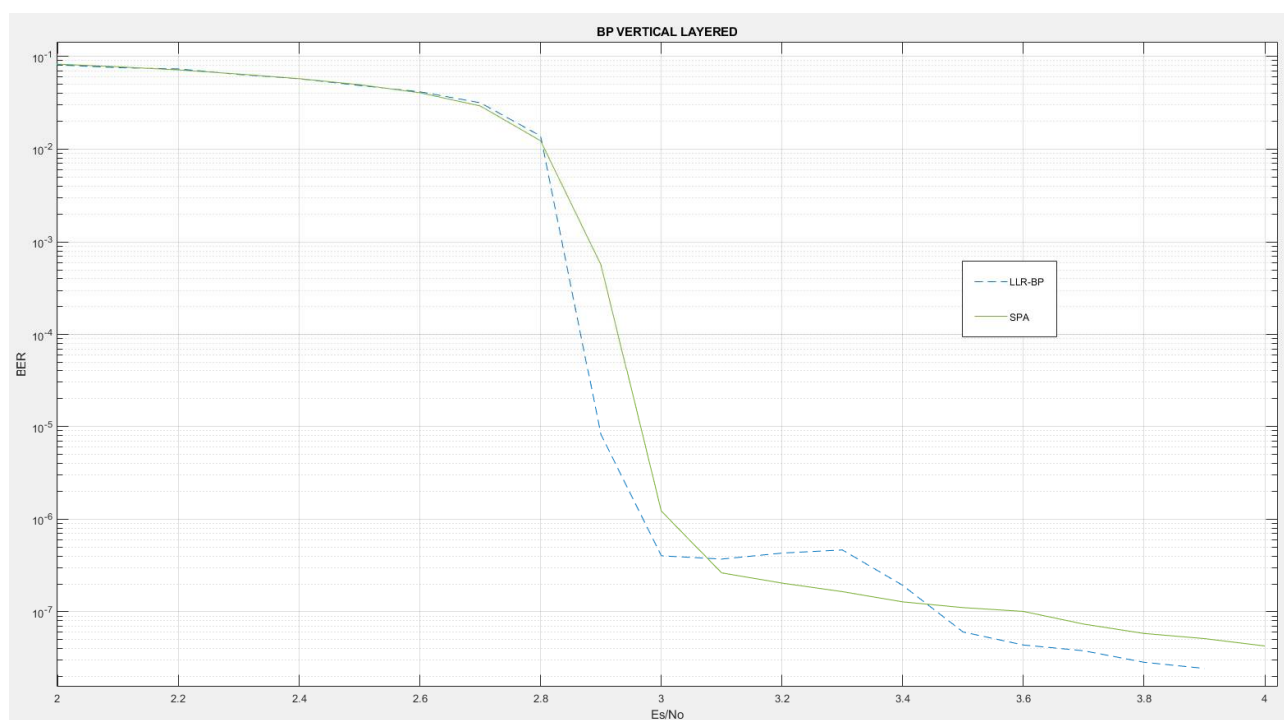


Рис. 6. Производительность декодера BP VERTICAL LAYERED

По результатам моделирования можно видеть, что каждый из используемых декодеров уступает алгоритму LLR-BP в области насыщения ошибки. Интересно заметить, что некоторые из реализаций декодеров проявляют тенденцию к всплескам уровня ошибок.

Библиографический список

1. Lowering Error Floors by Removing Dominant Trapping Sets of Low-Density Parity-Check Codes for Broadcasting System, Kyung-Joong Kim, Seho Myung, and Hongsil Jeong
2. Aff3ct, <https://aff3ct.github.io/>
3. M.G. Luby ; M. Mitzenmacher ; M.A. Shokrollahi ; D.A. Spielman. Efficient erasure correcting codes. IEEE Transactions on Information Theory (TIT), 47(2):569 – 584, February 2001.
4. D. J. C. MacKay and R. M. Neal. Good codes based on very sparse matrices. In IMA International Conference on Cryptography and Coding (IMA-CCC), 100–111. UK, December 1995. Springer.
5. E. Yeo, P. Pakzad, B. Nikolic, and V. Anantharam. High throughput low-density parity-check decoder architectures. In Global Communications Conference (GLOBECOM), volume 5, 3019–3024 vol.5. IEEE, 2001

УДК 621.396; ГРНТИ 49.29

ОЦЕНКА ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТИ НАБОРА LDPC-КОДОВ ИЗ СТАНДАРТА ПО КОДИРОВАНИЮ С ИСПРАВЛЕНИЕМ ОШИБОК ФЛЭШ-ПАМЯТИ

А.П. Кондратьев

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

Аннотация. В работе рассматривается набор двухуровневых LDPC кодов, которые используются в стандарте кодирования с исправлением ошибок для флэш-памяти. Приводятся основные принципы кодирования и декодирования, описываются параметры набора используемых LDPC кодов, производится оценка помехоустойчивости этих кодов.

Ключевые слова: кодирование, двухуровневый LDPC код, флэш-память, квазициклический LDPC код.

EVALUATION OF NOISE IMMUNITY OF A SET OF LDPC CODES FROM THE STANDARD FOR ERROR CORRECTION CODING OF FLASH MEMORY

A.P. Kondratyev

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

The summary. The paper considers a set of two-level LDPC codes that are used in the standard for error correction coding of flash memory. The basic principles of coding and decoding are given, the parameters of the set of used LDPC codes are described, and the noise immunity of these codes is estimated.

Keywords: coding, two-level LDPC code, flash memory, quasi-cyclic LDPC code.

Надежная передача и хранение данных достигается за счет использования методов кодирования с исправлением ошибок (Error Correction Coding, ECC), где желаемая надежность определяется на основе приложения. Наименьший блок памяти в флэш-памяти обычно используется для хранения нескольких пакетов данных или кодовых слов, закодированных с использованием метода ECC. Для заданной длины пакета доступная память может не полностью использоваться сохраненными кодовыми словами. Для этого сценария схема построения двухуровневого кода на основе первичных кодовых слов, хранящихся в блоке памяти, формирует вспомогательное кодовое слово. Это кодовое слово использует только неиспользованную память, которой недостаточно для хранения первичных кодовых слов.

Эта схема основана на LDPC кодах и способствует уменьшению числа ошибок на кадр (Frame-Error Rate, FER) для данной исходной частоты ошибок по битам (Raw Bit Error Rate, RBER) с незначительной задержкой. В схеме построения двухуровневого кода первый уровень содержит закодированные биты пользовательской информации с использованием T

кодовых слов, а второй уровень содержит кодирование подмножества каждого из кодовых слов на первом уровне с использованием вспомогательного кодового слова. Однако сохраняются только биты четности вспомогательного кодового слова, и, таким образом, вводимые служебные данные малы, особенно для высокоскоростных кодов [1].

Высокий интерес в изученном стандарте вызывают используемые матрицы LDPC кодов. Получение набора LDPC кодов различных длин и скоростей благодаря использованию различных, независимых друг от друга проверочных матриц является самым распространённым, однако самым затратным вариантом. В первой части работы рассмотрен алгоритм кодирования и декодирования двухуровневых LDPC кодов, в котором могут использоваться представленные проверочные матрицы. Вторая часть содержит непосредственное моделирование, а также оценку параметров и помехоустойчивость представленных в стандарте LDPC кодов.

Кодирование двухуровневых LDPC кодов

Как сказано выше, в стандарте [1] описываются двухуровневые LDPC коды, где к основному кодовому слову добавляется вспомогательное кодовое слово, которое создаётся с использованием основного кодового слова. Использование двухуровневого кода подразумевается в энергозависимой памяти. Двухуровневый код превосходит традиционный LDPC код, однако вносит задержку и имеет более высокие требования к памяти.

На рисунке 1 представлена блок-схема кодера с использованием двухуровневой схемы построения кода. Первый уровень содержит T кодеров для кодирования T информационных блоков и генерации кодовых слов $c_1, c_2, \dots, c_T$, где T - произвольное число. Кодовые слова могут быть закодированы с использованием любого из различных методов кодирования LDPC кодов. Далее перемежаются биты в каждом кодовом слове $c_1, c_2, \dots, c_T$. Тогда $k'_1, k'_2, \dots, k'_T$ битов должны быть выбраны из каждого кодового слова, так, чтобы $k'_1 + k'_2 + \dots + k'_T = k_{aux}$, где k_{aux} - количество бит, закодированных вспомогательным кодером. Затем эти биты кодируются с использованием кода второго уровня (вспомогательным кодом). Вспомогательный код c_{aux} может быть систематическим кодом, который представлен как $c_{aux} = [u_{aux}, p_{aux}]$, где u_{aux} - информационные биты, которые должны быть выбраны из основных кодовых слов $c_1, c_2, \dots, c_T$, $p_{aux} = [c_{a,1}, c_{a,2}, \dots, c_{a,p_a}]$ - биты чётности. Сохранять нужно только p_{aux} , т.к. информационные биты уже сохранены. Далее предполагается, что используется одна и та же проверочная матрица для декодирования первичного и вспомогательного кодового слова.

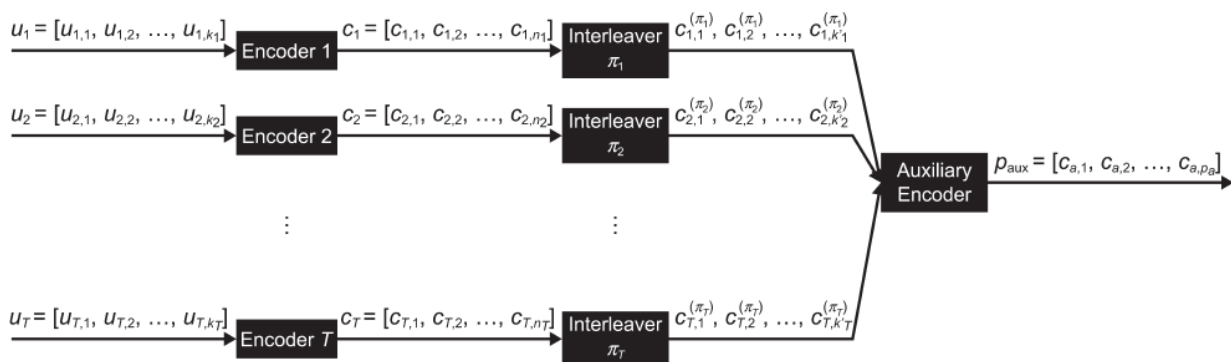


Рис. 1. Блок-схема кодера с использованием двухуровневого кодирования [1]

Цель использования вспомогательного кода – предоставить дополнительную информацию для каждого отказавшего основного кодового слова. Вспомогательное кодовое слово должно декодироваться только тогда, когда по крайней мере одно из основных кодовых слов не работает. В схеме построения двухуровневого кода декодеры основного и вспомога-

ного кода должны обмениваться информацией, чтобы повысить общую надежность сообщений. Также следует использовать одну схему декодера для декодирования основного и вспомогательного кодовых слов.

Алгоритм декодирования

Декодирование выполняется в три этапа. Сначала декодируются T первичных кодовых слов. Если обнаружение хотя бы одного из основных кодовых слов не удастся, декодируется вспомогательное кодовое слово. Затем внешняя информация, полученная в результате декодирования вспомогательного кода, предоставляется ошибочным пакетам, и эти пакеты декодируются еще раз.

Основной целью использования вспомогательного кода является предоставление дополнительной информации для каждого ошибочного основного кодового слова, чтобы увеличить вероятность успешного обнаружения. Иными словами, вспомогательное кодовое слово должно быть декодировано только тогда, когда, по крайней мере, одно из первичных кодовых слов в странице памяти дает сбой. Таким образом, одна итерация глобального декодирования состоит из декодирования вспомогательного кодового слова на основе результатов обнаружения первичных кодовых слов с последующим декодированием ошибочного кодового слова на основе результатов обнаружения вспомогательного кодового слова.

Подробнее алгоритм декодирования описывается следующим образом [1]:

1. T первичных кодовых слов на одной странице памяти должны быть декодированы. Предположим, что количество ошибок декодирования обозначено d_f . Если $d_f = 0$, должны быть декодированы T первичных кодовых слов на следующей странице; иначе,

для $m = 1, \dots, d_f$

2. Вспомогательное кодовое слово должно быть декодировано, если оно не было успешно декодировано в предыдущей итерации или итерациях цикла. Для декодирования вспомогательного кодового слова логарифмические отношения правдоподобия (Log Likelihood Ratio, LLR) информационных битов могут быть вычислены на основе результатов обнаружения первичных кодовых слов, а LLR битов четности могут быть вычислены на основе результатов считывания соответствующей части четности, которые хранятся на странице памяти.

3. LLR для битов отказавшего основного кодового слова, которые кодируются с использованием вспомогательного кодового слова, могут быть обновлены на основе результатов декодирования вспомогательного кодового слова. Неудачное кодовое слово должно быть декодировано повторно за одну глобальную итерацию.

Основные моменты требований к памяти декодера:

- Для декодирования первичных и вспомогательных кодовых слов должна использоваться одна схема декодера.
- Должна быть выделена память для жёсткого решения (там же следует хранить данные жёстких решений для неудачных кодовых слов).
- Постоянное запоминающее устройство (ПЗУ) должно использоваться для хранения информации о подключении вспомогательного кодового слова и основных кодовых слов.

Параметры используемого набора LDPC кодов

Рассматриваемые коды описываются следующим образом:

1. В данном стандарте используются длины кода, равные 1 кБ (10800 бит, 9240 бит, 9520 бит, 8960 бит) и 2 кБ, т.е. вдвое больше.

2. Скорости кодирования для рассматриваемых кодов, рассматриваемых в стандарте: 0.83, 0.91, 0.88 и 0.94. Все коды, как можно видеть, являются довольно высокоскоростными.
- Коды являются квазициклическими. Каждый элемент матрицы является подматрицей. Размер подматрицы – $Z \times Z$. Значение -1 указывает на то, что это нулевой циркулянт, а значение 0 указывает, что единичная матрица не была сдвинута. Размер циркулянта для каждой матрицы равен 140, то есть каждый циркулянт имеет размер 140×140 .
- Для регулярных квазициклических кодов параметрами являются: число единиц на столбец и строку, величина обхвата графа Таннера, минимальное кодовое расстояние. Все коды, кроме кода длиной 10080, являются регулярными.

В таблице 1 представлены характеристики рассматриваемых матриц.

Таблица 1. Характеристики матриц LDPC кодов

Длина кода	Скорость кодирования	Вес строк	Плотность распределения строк	Вес столбцов	Плотность распределения столбцов	Размер циркулянта
10080	0.8335	23, 24	0.0833, 0.9167	3, 4	0.0139, 0.9861	140
20160	0.8333	24	1	4	1	140
9240	0.9091	44	1	4	1	140
18480	0.9091	44	1	4	1	140
9520	0.8824	34	1	4	1	140
19040	0.8824	34	1	4	1	140
8960	0.9375	64	1	4	1	140
17920	0.9375	64	1	4	1	140

Результаты моделирования и оценка помехоустойчивости используемых в стандарте LDPC кодов

Для оценки помехоустойчивости представленных в стандарте квазициклических LDPC кодов сжатые проверочные матрицы были расширены и сохранены в текстовые файлы. Сами матрицы приведены в стандарте.

Каждая проверочная матрица была использована в модели, которая является имитацией системы связи с модуляцией и кодированием, где данные передаются по каналу связи с аддитивным белым гауссовским шумом (АБГШ).

Ниже представлены результаты моделирования и графики, описывающие частоту ошибки на бит с использованием каждой из проверочных матриц из набора.

На рисунке 2 представлены графики отношения битовой ошибки к E_b/N_0 для всех кодов при 10 итерациях декодера. Для моделирования была использована модуляция BPSK и далее не менялась.

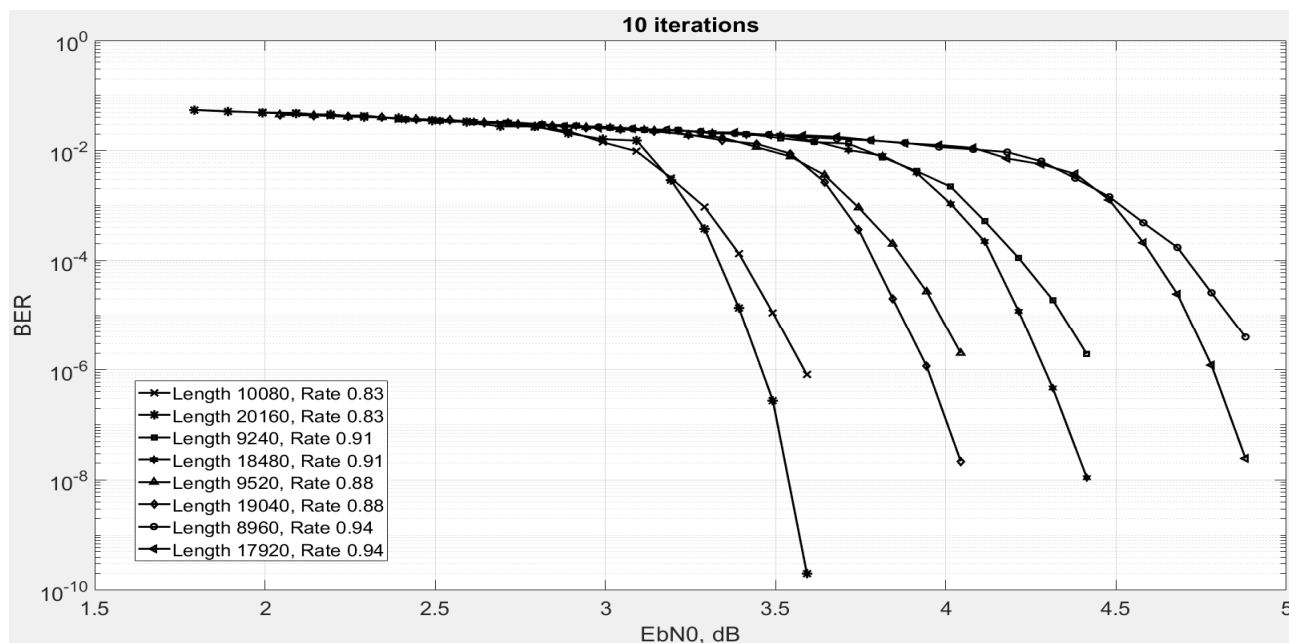


Рис. 2. Отношение битовой ошибки к E_b/N_0 для набора LDPC кодов при 10 итерациях декодирования

На графике можно наблюдать, что лучшими кодами в плане помехоустойчивости являются коды длиной 20160 и 10080, и скоростью 0.83. Также замечено, что при увеличении длины кода при одинаковой скорости кодирования происходит уменьшение битовой ошибки.

Все коды показывают хорошую помехоустойчивость и битовую ошибку не менее 10^{-6} для $E_b/N_0 = 5$ дБ (для кодов со скоростью 0.83 битовая ошибка резко падает уже на уровне 3.5 дБ).

На рисунках 3 и 4 представлены графики отношения битовой ошибки к E_b/N_0 для всех кодов при 20 и 50 итерациях декодирования соответственно.

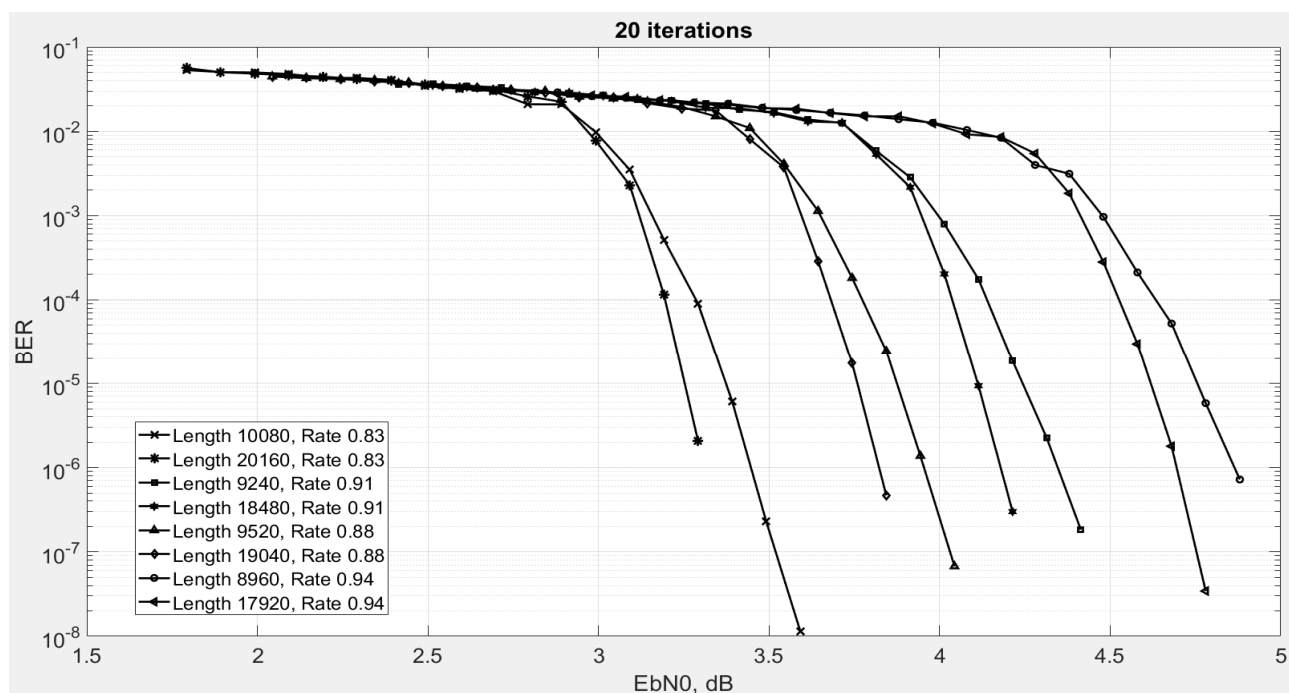


Рис. 3. Отношение битовой ошибки к E_b/N_0 для набора LDPC кодов при 20 итерациях декодирования

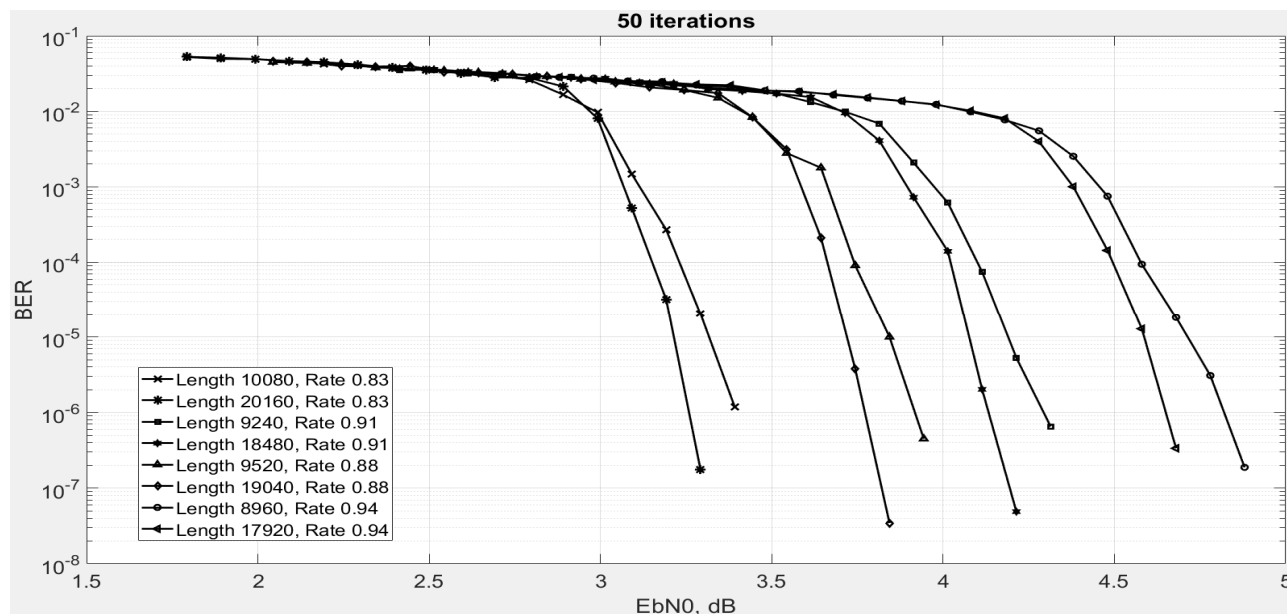


Рис. 4. Отношение битовой ошибки к E_b/N_0 для набора LDPC кодов при 50 итерациях декодирования

Из данных графиков следует, что при увеличении количества итераций битовая ошибка также уменьшается.

Точность вычислений достигалась за счёт длительной работы модели и обработки порядка 10^9 - 10^{10} бит (от одного до десяти миллиардов бит).

Рассмотренные LDPC коды могут служить набором RC-LDPC кодов (rate-compatible LDPC, RC-LPDC), т.е. совместимых по скорости LDPC кодов, где та или иная проверочная матрица может быть использована в системе связи в зависимости от помехоустойчивой обстановки. Использование отдельной проверочной матрицы для каждой скорости кодирования уступает таким способам, как процедура выкалывания или адаптация с расширением, но является самым популярным на данный момент способом получения набора RC-LDPC кодов.

1. IEEE Standard for Error Correction Coding of Flash Memory Using Low-Density Parity Check Codes — Введ. 2018-09-27. — IEEE-SA Standards Board, 2018. — 50 с.

УДК 621.396.96; ГРНТИ 47.49

ИССЛЕДОВАНИЕ ТОЧНОСТИ ОЦЕНКИ ВАРИАБЕЛЬНОСТИ СЕРДЕЧНОГО РИТМА РАДИОЛОКАЦИОННЫМ ДАТЧИКОМ

А.А. Захаркин, С.В. Витязев

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

Аннотация. В работе рассматривается точность алгоритма оценки ЧСС посредством обработки радиолокационного сигнала. Проведено моделирование сигналов дыхания и сердцебиения, а также алгоритма обработки радиолокационного сигнала, восстанавливающего информацию о ЧСС и ее вариабельности. Проведено исследование точности работы алгоритма.

Ключевые слова: вариабельность ЧСС, радиолокационный датчик, цифровая обработка радиолокационного сигнала.

STUDY OF THE ACCURACY OF THE VARIABILITY ESTIMATE HEART RATE VIA RADAR SENSOR

A.A. Zakharkin, S.V. Vityazev

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

The summary. The paper considers the accuracy of the algorithm for estimating heart rate by processing a radar signal. Modeling of respiration and heartbeat signals, as well as an algorithm for processing a radar signal that restores information about heart rate and its variability, was carried out. A study of the accuracy of the algorithm was carried out.

Keywords: heart rate variability, radar sensor, digital processing of the radar signal.

Введение

Мониторинг ЧСС и variability сердечного ритма — важная для контроля здоровья процедура, потому что по этим двум показателям деятельности сердца можно узнать о состоянии организма в целом. В последнее время в ряде работ для этой цели предложено использовать радиолокационные датчики [1]. Однако точность измерений радиолокационным методом вызывает вопросы. Целью данной работы является моделирование алгоритма обработки радиолокационного сигнала, несущего информацию о частоте дыхания и сердцебиения, и оценка точности измерения ЧСС и variability радиолокационным датчиком.

Математическая модель

Для оценки точности variability сердечного ритма нужно иметь радиолокационный сигнал, содержащий в себе информацию о сердцебиении и дыхании. Для создания такого сигнала примем, что зондирующий грудную клетку сигнал в общем виде можно описать гармоническим законом:

$$s(t) = A \cos(2\pi ft + \varphi(t)) \quad (1)$$

где $\varphi(t)$ — фаза сигнала.

Один цикл смещения грудной клетки вследствие сердцебиения опишем одной гауссианой. Тогда процесс сердцебиения можно описать последовательностью гауссиан [2-4]:

$$x_h(t) = \sum_{n=1}^N A \exp \left\{ -\frac{[t - (nT_0 + T_n)]^2}{2\sigma^2} \right\}, \quad T_n = T_1, T_2, T_3, \dots \quad (2)$$

где A — максимальная величина, на которую может сместиться грудная клетка при ударе сердца, измеряется в метрах;

N — число наблюдаемых периодов;

T_0 — постоянный период сердцебиения;

$T_1, T_2, \dots, T_N$ — отклонения сердцебиения от постоянного периода, обусловленные variability сердечного ритма.

Ширина импульса сердцебиения σ не зависит от временных и частотных характеристик:

$$\sigma = \frac{1}{A\sqrt{2\pi}}. \quad (3)$$

Смещение грудной клетки, обусловленное дыханием, выразим следующим гармоническим законом:

$$x_r(t) = d \cos(2\pi ft), \quad (4)$$

где d — максимальная величина, на которую может сместиться грудная клетка от дыхания, измеряется в метрах;

f — частота дыхания, выражаемая в Герцах.

Теперь, зная модели всех смещений, можно записать отражённый от грудной клетки зондирующий сигнал, который теперь будет содержать в себе информацию о работе сердца и лёгких [5]:

$$R_I(t) = A_I \cos\left\{\frac{4\pi[x_r(t) + x_h(t)]}{\lambda} + \theta_0 + \Delta\phi\right\}, \quad (5)$$

$$R_Q(t) = A_Q \sin\left\{\frac{4\pi[x_r(t) + x_h(t)]}{\lambda} + \theta_0 + \Delta\phi\right\}.$$

где A_I и A_Q — амплитуды синфазной и квадратурной составляющих сигнала;

θ_0 — смещение фазы, вызванное отражением сигнала от грудной клетки;

$\Delta\phi$ — суммарный фазовый шум;

λ — длина излучённой волны, измеряемая в метрах.

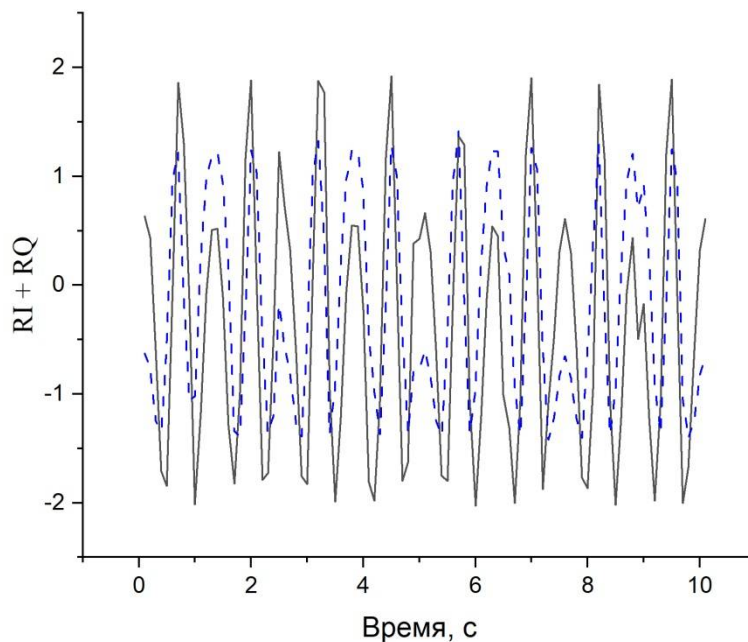


Рис. 1. Отражённый от грудной клетки сигнал

Алгоритм

Сигнал (5) обрабатывается перекрывающимися кадрами равной длительности. Опишем алгоритм обработки одного кадра сигнала, включающий следующие этапы.

1. Удаление постоянной составляющей. На этом этапе из входного цифрового сигнала мы вычитаем среднее значение.
2. Выделение составляющей сердцебиения. Здесь сигнал проходит через полосовые фильтры с полосой пропускания $[0,85; 2,50]$ кГц, что соответствует интервалу ожидаемой частоты сердцебиения.
3. Автокорреляция. Для повышения отношения сигнал/шум берём автокорреляционную функцию от комплексного сигнала с выхода фильтра.
4. Применение БПФ. Переход от временной области к частотной.

5. Выделение пика сердцебиения и обнуление остальной части спектра. Здесь помимо пика также сохраняется по одному отсчёту с обеих сторон от пика, остальная же часть спектра обнуляется.
6. Применение ОБПФ к выделенному пику амплитудного спектра. Переходим из частотной области обратно во временную.
7. Выделение предполагаемой частоты. Из получившейся гармоники выделяем искомую частоту.

После получения частоты f_0 на первом кадре мы определяем величину сдвига следующего кадра относительно начала предыдущего, равную $1/f_0$. Таким образом, после обработки всего сигнала (5) мы получим ряд значений частот, по которым сможем анализировать работу сердца.

Исследование точности алгоритма

Переходя непосредственно к исследованию точности данного метода, мы будем исследовать зависимость точности измерения частоты описанным алгоритмом от длины кадра. При этом точность будет оцениваться путём сравнения полученной частоты с эталонной (закладываемой в модель), численно равной 1,25 Гц. Предполагается, что с увеличением длины окна полученная частота будет всё меньше отличаться от эталонной.

Полученные результаты представлены на рисунке 2 и на рисунке 3. Для эксперимента были выбраны длины кадров обработки от 25 до 1000 отсчётов с шагом 25. Для каждой длины кадра производится усреднение по 25 экспериментам.

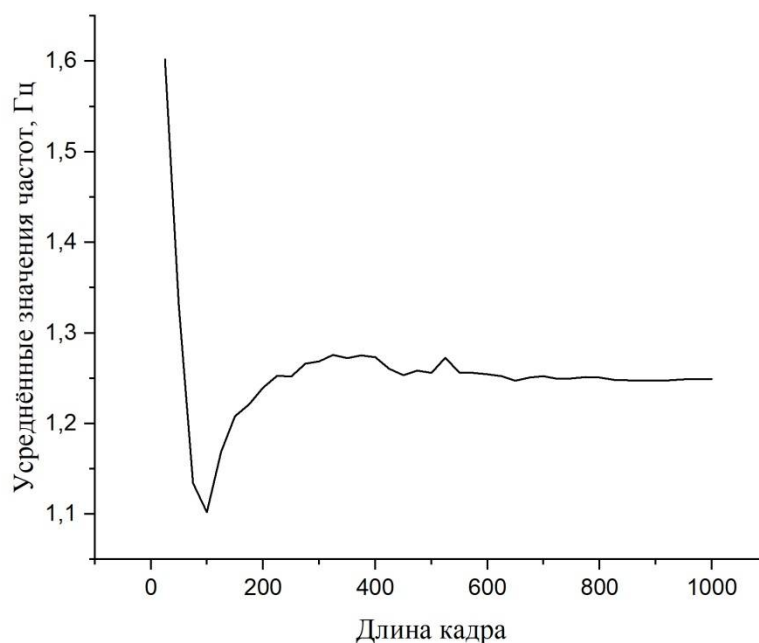


Рис. 2. Зависимость точности измерения частоты от длины кадра

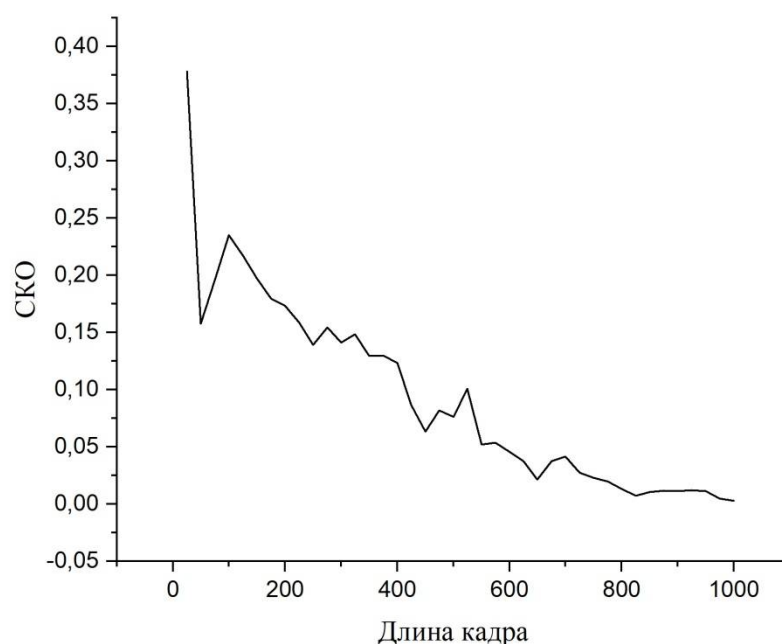


Рис. 3. Зависимость СКО от длины кадра

Выводы

Проведённое моделирование показало, что ЧСС и вариабельность сердечного ритма могут оцениваться радиолокационным методом, однако точность такой оценки при использовании выбранного подхода невелика. В представленных экспериментах она характеризуется относительной погрешностью 0,02...28 % обратно пропорциональной длине кадра. Точность оценки ограничена в основном размером кадра обработки.

Библиографический список

1. Nosrati M., Tavassolian N. High-Accuracy Heart Rate Variability Monitoring Using Doppler Radar Based on Gaussian Pulse Train Modeling and FTPR Algorithm // IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques. 2017. Т. 65. № 5. С. 1.
2. Wong J.-S., Lu W.-A., Wu K.-T., Liu M., Chen G.-Y., Kuo C.-D. A comparative study of pulse rate variability and heart rate variability in healthy subjects // Journal of Clinical Monitoring and Computing. 2012. Т. 26. № 2. С. 107-114.
3. Morgan D.R., Zierdt M. G. Novel signal processing techniques for Doppler radar cardiopulmonary sensing // Signal Process. 2009. Т. 89. № 1. С. 45-66.
4. Zakrzewski M., Vehkaoja A., Joutsen A.S., Palovuori K.T., Vanhala J.J. Noncontact respiration monitoring during sleep with microwave Doppler radar // IEEE Sensors. 2015. Т. 15. № 10. С. 5683-5693.
5. Nieh C.-M., Lin J. Adaptive beam-steering antenna for improved coverage of non-contact vital sign radar detection // IEEE MTT-S International Microwave Symposium (Tampa, FL, USA). 2014. doi: 10.1109/MWSYM.2014.6848388.

УДК 621.396; ГРНТИ 49.29

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ СНИЖЕНИЯ ПИК-ФАКТОРА СИГНАЛОВ С OFDM

Т.А. Чигрина

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

Аннотация. В работе рассматриваются методы снижения пик-фактора сигналов OFDM. Приводятся их основные особенности, достоинства и недостатки.

Ключевые слова: пик-фактор (PAPR), клиппирование, техника выбранного отображения (SLM), метод обнаружения тона (TR).

INVESTIGATION OF METHODS FOR REDUCING THE PEAK FACTOR OF SIGNALS WITH OFDM

T.A. Chigrin

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

The summary. Methods for reducing the peak factor of OFDM signals. Their main features, advantages and disadvantages are given.

Keywords: peak factor (PAPR), clipping, selected display technique (SLM), tone detection method (TR).

Сигналы с ортогональным частотным мультиплексированием (OFDM) используются в сетях беспроводного широкополосного доступа. Благодаря сигналам OFDM можно обеспечить высокую помехоустойчивость приема при межсимвольной интерференции. Однако, в многочастотных каналах есть и недостатки – это высокий пик-фактор. Из-за этого возникает необходимость в использовании выходных усилителей по мощности. Они должны иметь большой динамический диапазон усиления, а также увеличивает уровень межсимвольной и внутрисимвольной интерференции. Из-за этого недостатка появляются ограничения на системы передачи, которые используют сигналы с OFDM. Помимо всего этого ограничения накладываются на скорость передачи и на достоверность приема.

Характеристики пик-фактора сигнала

Бывает так, что сигнал может состоять из большого количества суммирующих N сигналов. Эти сигналы имеют максимальную амплитуду, которая равняется 1. В такие моменты может произойти так, что возникнет максимальная пиковая амплитуда N в любой момент времени. Это возникает из-за того, что происходит сложение N сигналов в момент их максимальной амплитуды [1]. Существует специальная характеристика, которая называется пик-фактор, или PAPR (Peak to Average Power Ratio – отношение пиковой мощности к средней). Это можно определить по формуле (1).

$$R = \lg \left(\frac{\max(s^2(t))}{P_{avg}} \right) dB, \quad (1)$$

где $s(t)$ – вектор сигнала по времени, P_{avg} – средняя мощность сигнала.

Благодаря пик-фактору можно узнать на сколько ниже надо взять усредненный уровень передачи по сравнению с максимально допустимым уровнем в канале, чтобы не перегружать канал [1].

Методы снижения пик-фактора

В данной статье представлено несколько методов, позволяющих в той или иной степени уменьшить пик-фактор OFDM сигнала. К ним относятся:

- Клиппирование;
- Техника выбранного отображения SLM.

Метод клиппирования

Когда возникает необходимость в использовании клиппированных сигналов часто становится нужно их последующее восстановление [2].

Для этого создается замена вырезанной части сигнала, которая будет правдоподобна. Клиппирование может быть:

- Жестким;
- Мягким.

При жестком клиппировании восстановить сигнал в то состояние, в котором он был первоначально невозможно. Эта невозможность возникает из-за того, что вся отброшенная информация была утеряна.

При мягком клиппировании сигнал возможно восстановить с приемлимой точностью. Это возможно за счет того, что в этом случае некоторая информации о части сигнала была не отброшена, а сжата.

Главным недостатком клиппирования является то, что при ограничении сигнала может появляться внутриполосное и внеполосное излучение (так называемый шум клиппирования) [2].

На рисунке 1 изображена схема снижения PAPR, которая использует метод амплитудного ограничения [2].

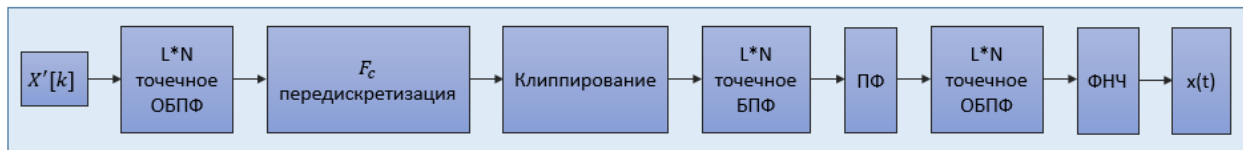


Рис. 1. Схема снижения пик-фактора с использованием метода амплитудного ограничения

Здесь L – фактор передискретизации, N – количество поднесущих.

Исследование можно провести, применяя оконную функцию (в нашем случае Хэмминга). На рисунке 2 представлен уровень снижения пик-фактора при клиппировании окном Хэмминга [2].

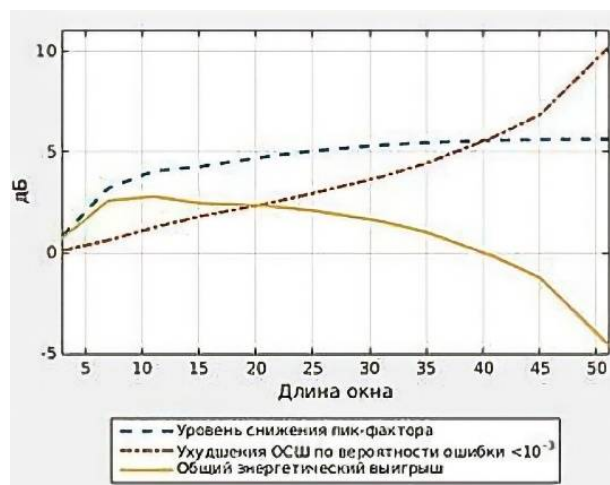


Рис. 2. Уровень снижения пик-фактора при клиппировании окном Хэмминга

Здесь мы видим, что максимальный выигрыш составляет 2,81 дБ, т.е. в 1,91 раза.

Техника селективного отображения SLM

SLM (The Selected Mapping Technique) метод заключается в том, что для снижения пик-фактора создаются эквивалентные представления OFDM-символов. Передатчик, который строится на методе SLM формирует набор разных блоков данных, у которых одинаковая информация, из исходного блока, а затем выбирается самый удобный для передачи блок.

На рисунке 3 изображена блочная схема метода SLM [2].

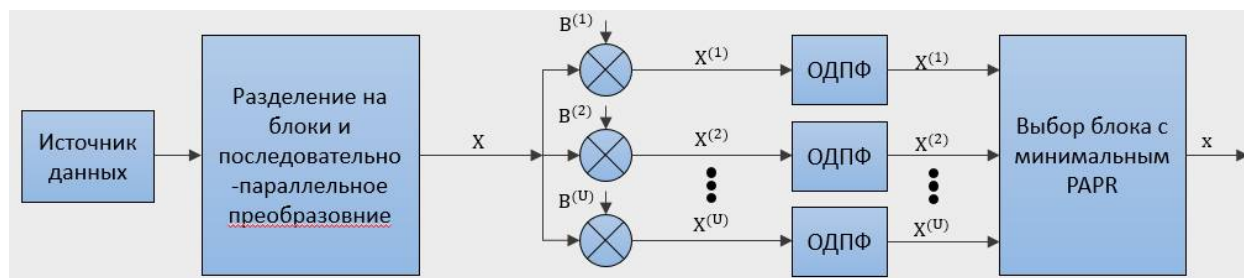


Рис. 3. Блочная схема метода SLM

Метод SLM можно применять для любого числа поднесущих и видов модуляции. Значение PAPR снижается в зависимости от количества фазовых последовательностей и метода их формирования. На рисунке 4 представлен график функций исходного сигнала и сигнала после применения метода SLM [2].

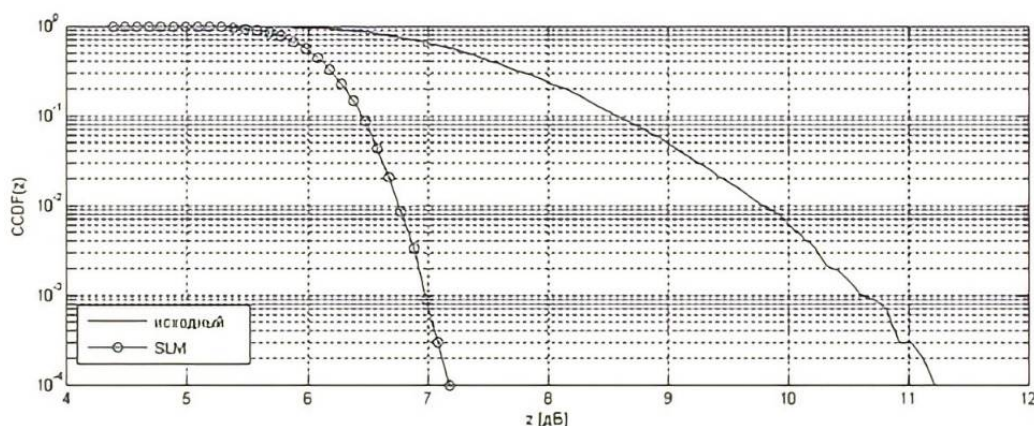


Рис. 4. График функций исходного сигнала и сигнала после применения метода SLM

Снижение пик-фактора составляет примерно 4 дБ.

Главный недостаток метода SLM является то, что он негативно сказывается на скорости передачи данных. Это происходит из-за необходимости передачи служебной информации [2].

К достоинствам данного метода можно отнести то, что нет необходимости в дополнительной мощности передатчика. Данный метод можно использовать как на передатчике, так и на приемнике [2].

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. Коряков, А.В. Исследование методов понижения отношения пиковой мощности к средней мощности различных видов сигналов в системах цифровой связи: дис. : 11.04.02 / А.В. Коряков; Белг. гос. нац. исслед. ун-т. (НИУ БелГУ) – Белгород, 2016. – 70 л.

УДК 629.78; ГРНТИ 49.29

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ДАЛЬНОСТИ ПРИЕМА СРЕДСТВАМИ РАДИОТЕЛЕМЕТРИИ ПРИ ОБЕСПЕЧЕНИИ ЛЁТНЫХ ИСПЫТАНИЙ

Д.И. Косицына

Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань, dkositsyna703@gmail.com

Аннотация. Описана методика оценки дальности приема, позволяющая выполнять расчет зон радиовидимости стационарных измерительных пунктов по трассе выведения, основанная на расчете энергетического запаса радиолиний для перебазированных средств приема телеметрической информации, учитывающая угловую ориентацию изделия и предназначенная для реализации на цифровом процессоре обработки сигналов в реальном времени.

Ключевые слова: измерительный пункт, бортовая система, двигательная установка, система координат, радиогоризонт, цифровой процессор обработки сигналов.

METHODOLOGY FOR ASSESSING THE RANGE OF RECEPTION BY MODERN TELEMETRIC MEANS WHEN PROVIDING FLIGHT TESTS

D.I. Kositsyna

Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,
Russia, Ryazan, dkositsyna703@gmail.com

The summary. The described technique for estimating the reception range, which allows calculating the radio visibility zone for measuring stationary points along the launch route, is based on the calculation of the energy reserves of radio links for relocated telemetric information reception facilities, taking into account the angular orientation of the product and is intended for implementation on a digital signal processor in the sensations of time.

Keywords: measuring point, onboard system, propulsion system, coordinate system, radio horizon, digital signal processor.

Методика оценки дальности приема должна учитывать параметры для обеспечения уверенного приема телеметрической информации (ТМИ) в течении всего полета изделия для заданного измерительного пункта (ИП).

Исходные данные для проведения расчетов по методике следующие:

- по бортовой системе телеметрических измерений: тип бортовой телеметрической аппаратуры, информативность, частотная литера и т.п.;
- параметры стартовой системы координат (СК) изделия и измерительной системы координат, которые связаны с антенно-фидерным устройством (АФУ) ИП;
- циклограмма работы двигательных установок изделия;
- траектория изделия и углы его ориентации в ходе полета.

Выбираются участки полета изделия, пригодные для проведения измерений.

Анализ участков, пригодных для приема, выполняется на основе следующих условий

[1]:

1. Проверяется угол места изделия, по которому ведется прием ТМИ. Он должен превышать 3° .

$$\theta_{\text{изд}} = \arctg \left(\frac{Y_{\text{изм}}}{\sqrt{X_{\text{изм}}^2 + Z_{\text{изм}}^2}} \right),$$

где $X_{\text{изм}}^2$, $Y_{\text{изм}}^2$, $Z_{\text{изм}}^2$ – положение изделия в измерительной СК на момент расчета.

2. Проверяется отсутствие экранирования радиолинии факелом двигателя:
 - согласно фактической циклограмме полета изделия проводится проверка о наличии работающего двигателя на момент расчета. Если двигатель

отсутствует, то условие выполняется, иначе проводятся дальнейшие вычисления;

- угол между факелом двигателя и вектором, направленным на измерительный пункт, можно определить с помощью формулы:

$$\theta_{\text{дв}} = \arccos\left(\frac{-x_{\text{ССК}}}{\sqrt{X_{\text{ССК}}^2 + Y_{\text{ССК}}^2 + Z_{\text{ССК}}^2}}\right),$$

где $X_{\text{ССК}}$, $Y_{\text{ССК}}$, $Z_{\text{ССК}}$ – координаты измерительного пункта в связанной СК изделия.

3. Проверяется нахождение уровня полезного сигнала в диапазоне, пригодном для анализа. При этом учитывается угловая ориентация изделия, которая определяется первоначально в связанной СК тремя эйлеровыми углами вращения: тангаж, рысканье и крен.

При проведении расчетов используются следующие СК [2]:

- геоцентрическая относительная;
- стартовая;
- измерительная;
- измерительная замороженная.

ТМИ передается через малонаправленные антенны, коэффициент G которых изменяется от 2 до 0,05 в зависимости от изменения угла между линией связи и направлением максимума диаграммы направленности (ДН). Передача ведется на двух частотах диапазона Д2 (например, 1018,5 МГц и 1020,5 МГц) через две антенны, установленные на изделии диаметрально противоположно.

Энергетика радиотелеметрического канала, определяющая вероятность ошибки на символ, принимаемой ТМИ, при известных характеристиках бортовых антенн, мощности бортового передатчика для заданной дальности приема, определяется чувствительностью приемника, зависящей от шумовой температуры приемной системы. Ее можно найти на основе полосы частот сигнала, эффективной поверхностью приемной системы и возможными потерями в радиолинии.

Дальность приема ТМИ оценивается по следующей формуле:

$$D = \sqrt{\frac{P_t \cdot G_t \cdot S_r}{4\pi P_r}},$$

где D – дальность приема, км;

P_t – мощность передатчика, Вт;

G_t – коэффициент усиления бортовой антенны;

S_r – эффективная площадь приемной антенны, м²;

P_r – чувствительность приемника, Вт.

Для более точного расчета кроме потерь в свободном пространстве надо учитывать и дополнительные потери.

Общие потери в радиолинии в децибелах вычисляются по формуле:

$$\sum L = L_{\text{пр}} + At + L_{\text{пол}} + L_{\text{НАВ}_{\text{прд}}} + L_{\text{НАВ}_{\text{прм}}} + L_{\text{пп}},$$

где $L_{\text{пр}}$ – потери в свободном пространстве;

At – общее суммарное ослабление радиосигналов в атмосфере;

$L_{\text{пол}}$ – поляризационные потери;

$L_{\text{НАВ}_{\text{прд}}}$, $L_{\text{НАВ}_{\text{прм}}}$ – потери, вызванные ошибками наведения передающей и приемной антенн, дБ;

$L_{\text{пп}}$ – прочие потери, вызванные помехами соседнего канала, межсимвольной интерференцией и т.д.[3]

Падение интенсивности электромагнитной волны, распространяющейся прямолинейно при отсутствии каких-либо препятствий, вызывающих отражение или дифракцию, называют потерями в свободном пространстве. Рассчитывается по формуле:

$$L_{\text{пр}} = \left(4\pi \cdot \frac{d_{\text{прд-прм}}}{\lambda} \right)^2,$$

где $d_{\text{прд-прм}}$ – дальность радиосвязи, м; λ – длина волны, м.

Потери, вызванные ошибками наведения передающей и приемной антенн, обусловлены неточностью наведения антенн. Коэффициент усиления рассчитывается в максимуме ДН, уменьшается с отступом от него в соответствии с ее характеристикой. Отступом является ошибка угла наведения.

Потери, вызванные ошибками наведения, рассчитываются по формуле:

$$L_{\text{НАВ}} = 12 \cdot \left(\frac{APE}{BW} \right)^2,$$

где APE – ошибка угла наведения, град; BW – ширина ДН по уровню -3 дБ, град.

Общее суммарное ослабление в атмосфере в децибелах вычисляется по формуле:

$$At = A_g + \sqrt{(A_r + A_c)^2 + A_s^2},$$

где A_g – ослабление радиоволн в атмосферных газах на наклонных трассах;

A_r – поглощение, рассеяние и деполяризация за счет гидрометеоров (дождь, град);

A_c – ослабление из-за облачности;

A_s – ослабление из-за тропосферных мерцаний.

Для примера рассмотрим случай приема ТМИ во всей зоне радиовидимости.

Дальность до радиогоризонта представляет собой длину прямой линии, соединяющей наблюдателя и объекта наблюдения (изделие) при минимально допустимом угле места ДН.

Дальность до радиогоризонта, представленная в таблице, рассчитана для углов места $\varepsilon = 0^\circ$ и $\varepsilon = 7^\circ$.

Таблица. Дальность до радиогоризонта

Высота полета (км)	Дальность до радиогоризонта (км)	
	Угол места 0°	Угол места 7°
10	347	30
20	490	60
50	776	147
100	1100	286
200	1562	544
300	1921	781
500	2500	1213
1000	3606	2138
2000	5292	3676
3000	6708	5021

Описанная методика предназначена для реализации на цифровой процессоре обработки сигналов в реальном времени и позволяет выполнять расчет геометрических зон радиовидимости стационарного измерительного пункта, с учетом угловой ориентации изделия, дальности угла места, высоты полета, дальности до радиогоризонта, системы координат, цифрового процессора обработки сигналов.

Библиографический список

1. Аббасов, Э.М. Методика оценки дальности приёма современными телеметрическими средствами при пусках изделий с космодромов / Э.М. Аббасов // Информационно-технологический вестник. — 2020, №3(25). — С. 3 – 12. — Режим доступа: https://unitech-mo.ru/upload/files/science/information-technology-journal/itv03_2020.pdf. — Дата доступа: 05.02.2022.
2. ГОСТ Р 51794-2001 Аппаратура радионавигационной глобальной навигационной спутниковой системы и глобальной системы позиционирования. Системы координат. Методы преобразований координат определяемых точек. — М.: ГОССТАНДАРТ РОССИИ, 2001. — 11 с.
3. Ерохин, Г.А. Методика расчета энергетического запаса радиолинии «космический аппарат — станция» / Г.А. Ерохин, В.И. Мандель, Ю.А. Нестёркин, А.П. Струков // Ракетно-космическое приборостроение и информационные системы. — 2018, т. 5, вып. 1. — С. 65 – 74. — Режим доступа: https://russianspacesystems.ru/wp-content/uploads/2018/04/8_p65_0501-18.pdf. — Дата доступа: 05.02.2022.

УДК 004.738.5; ГРТНИ 20.53.23

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ РЫНКА РАСПРЕДЕЛЁННЫХ СИСТЕМ И СЕРВИСОВ ТЕЛЕМЕТРИИ

В.А. Колесникова

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

Аннотация. В работе рассматриваются наиболее эффективные для широкого применения IoT технологии. Приводятся их основные особенности, а также производится оценка перспективности развития данного направления в России.

Ключевые слова: технология IoT, цифровая обработка сигналов, энергоэффективные сети дальнего радиуса действия (LPWAN), протокол LoRaWAN.

PROSPECTS FOR THE DEVELOPMENT OF THE DISTRIBUTED SYSTEMS AND TELEMETRY SERVICES MARKET

V.A. Kolesnikova

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

The summary. The paper discusses the most effective IoT technologies for wide application. Given their main features and assessed the prospects for the development of this direction in Russia.

Keywords: IoT technology, modern methods of digital signal processing, low-power wide area networks (LPWAN), LoRaWAN protocol.

Технология IoT (Internet of Things) – это совокупность объектов, подключенных через беспроводную сеть с доступом в Интернет, предназначенная для сбора и обмена данными с приложениями. Приложения могут управлять подключенными объектами, в результате чего появляется возможность оцифровки данных, полученных от физического мира. Предполагается, что IoT позволит снизить потребление ресурсов и увеличить эффективность подключенных систем.

Согласно оценкам развития Российского рынка, проведенного консалтинговой компанией “J’son & Partners Consulting”, по итогам 2021 г. в России, к глобальным сетям с использованием всех видов технологий было подключено почти 30 млн устройств IoT, что на 16%

превысило показатель 2020 года, а к 2025 году общее количество подключенных устройств вырастет с 29,6 млн до 62,4 млн (рис.) [5].

На фоне мирового рынка доля России по подключениям IoT составляет около 1,2-1,5%; при этом темпы роста российского рынка в 2021-2025 гг. (CAGR 19%) в количественном выражении, как ожидается, будут отставать от общемирового показателя (CAGR 22%).

Существенным сдерживающим фактором развития рынка IoT на данный момент в России является сокращение количества новых подключений, связанное со снижением платежеспособности населения из-за COVID.

Государственная корпорация «Ростех» предлагает разрабатывать в России отечественные микросхемы для беспроводных технологий Bluetooth, Wi-Fi, ZigBee, NFC, LPWAN, NB-IoT и Thread. Планируется не только создавать собственные микросхемы, но и существенно улучшать их показатели. Например, технология микросхемы Wi-Fi с 2022 г. до 2030 г. уменьшится с 7 нм до 3 нм, а потребляемая мощность снизится с 1,5 Вт до 0,1 Вт [1].

Общие инвестиции в развитие технологии IoT в России к 2030 г. запланированы в объеме более 200 млрд руб. Позиция России в глобальном рейтинге по количеству подсоединенных IoT-устройств за это время повысится с 33-го места в мире в 2019 г. до 10-го места в мире к 2030 г.

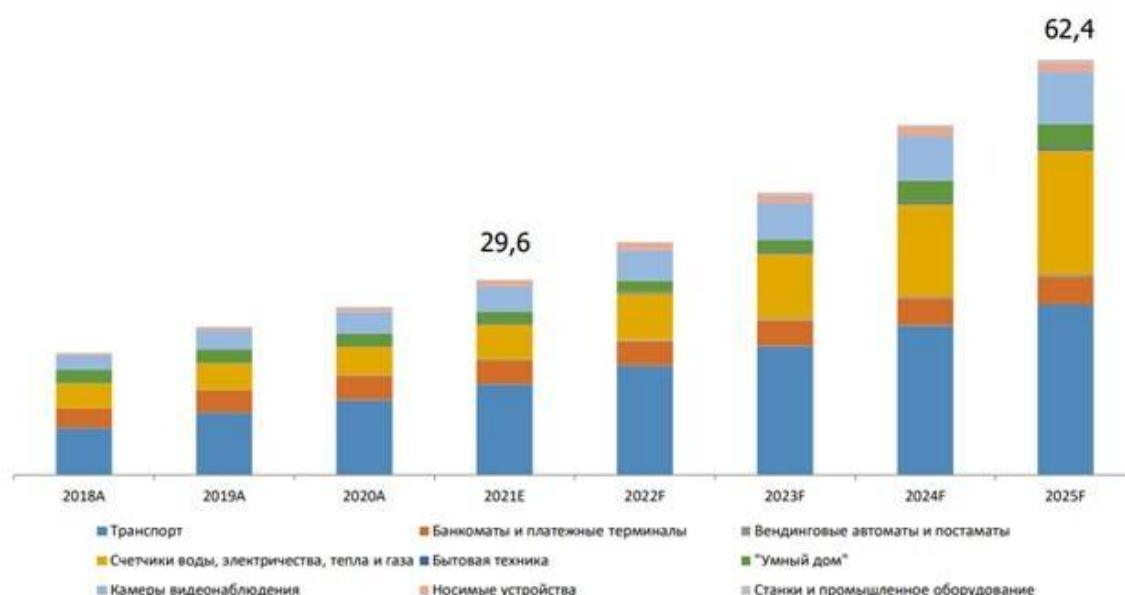


Рис. Оценка количества подключенных к глобальным сетям устройств IoT в России, млн штук

Согласно прогнозам госкорпорации «Ростех», заложенным в проект дорожной карты развития IoT, общее количество подключенных в России устройств IoT увеличится с 266,4 млн в 2022 г. до 2,62 млрд в 2030 г. В том числе в области связи и коммуникаций будет подключено 164 млн устройств, а продажи услуг увеличатся с 4 млрд руб в 2022 г. до 22,3 млрд руб в 2030 г. По прогнозу объем продаж российских производителей на внешнем рынке к 2030 г. составит 610 млн долл [1].

В 2030 г. планируется выделять 2 млрд руб в год в виде грантов на исследования и разработки отечественных организаций, производящих продукты и сервисы на базе технологии IoT. К этому времени количество российских организаций высшего образования, входящих в число 100 ведущих университетов увеличится с 5 на 2022 г. до 7 на 2030 г., а также будет открыто 12 профильных кафедр по направлению IoT.

Для того чтобы не только выполнить программу министерства по созданию отечественных аналогов зарубежных стандартов связи, микросхем и других комплектующих, но и

создать качественные, конкурентоспособные на внешнем и внутреннем рынке новые технологии, важно использовать новейшие научные достижения и современные методы цифровой обработки сигналов. Например, когерентный приём позволяет повысить качество передачи данных (качество цифровой связи) на несколько децибел.

Существующие на данный момент технологии не оптимизированы под устройства с низким энергопотреблением и небольшими объемами данных, по этой причине основной рост IoT будет связан с совершенствованием уже существующих сотовых сетей и массовым распространением энергоэффективных сетей дальнего радиуса действия (LPWAN), например LoRaWAN [2].

LoRaWAN – открытый протокол для высокочастотных сетей, имеющих несколько миллионов устройств в своем составе, с широкой площадью действия и низким энергопотреблением.

LPWA сети отлично подходят для работы в течение длительного периода времени, обеспечивают низкое энергопотребление, большую дальность и площадь передачи данных, при относительно невысоких скоростях (от 300 бит/с до 5 Кбит/с). Сеть LoRaWAN минимизирует время передачи данных и энергопотребление за счет оптимизации скорости, благодаря чему можно добиться существенного снижения энергопотребления устройства в десятки и сотни раз по сравнению с другими технологиями LPWA сетей. Кроме того, данная сеть обладает более высокой устойчивостью к помехам, а адаптивная скорость передачи данных позволяет обеспечить легкую масштабируемость сети.

Технология LoRaWAN хорошо подходит для передачи небольшого объема данных от сенсоров, поэтому может быть использована для администрирования зданий, мониторинга местоположения, домашней автоматизации (умный дом), корпоративных сетей, а также в области здравоохранения и умной промышленности. LoRaWAN не подходит для передачи большого объема данных с высокой скоростью, но с ее помощью можно контролировать другие беспроводные устройства и использовать, например, для передачи команд на эти устройства.

Частотная модуляция (FM) является одним из нелинейных методов модуляции и имеет меньшую спектральную эффективность по сравнению с амплитудной или фазовой модуляцией. Основным преимуществом частотной модуляции является постоянство огибающей модулированного сигнала, что позволяет достичь очень малых уровней побочного излучения и использовать в приемнике простые и эффективные некогерентные частотные демодуляторы [4].

В стандарте IEEE 802.15.4 [3], разработанном специально для беспроводных сетей, предусмотрены следующие виды цифровой частотной модуляции. Частотная модуляция (FSK) и частотная модуляция с минимальным сдвигом (MSK) не используют для формирования спектра фильтр Гаусса и по этой причине обладают более высокой помехоустойчивостью, к тому же их проще детектировать. Гауссовская частотная модуляция (GFSK) и гауссовская частотная модуляция с минимальным сдвигом (GMSK) за счет более узкой полосы позволяют эффективнее использовать частотный ресурс и размещать соседние каналы ближе друг к другу.

Модуляция ЛЧМ-импульсами (CSS), основанная на расширении спектра сигналами ЛЧМ, позволяет работать в условиях, когда мощность сигнала значительно ниже уровня шума. Основными достоинствами данного вида модуляции являются иммунитет к воздействию помех, низкая вероятность обнаружения, структурная скрытность сигнала и электромагнитная совместимость.

При создании новых устройств и стандартов связи важно использовать современные методы цифровой обработки сигналов. Данные разработки могут применяться не только государством, но и в бизнесе и являются выгодным вариантом для инвестиций, так как сохра-

няется тенденция развития отечественных технологий и увеличения объема продаж российских производителей как на внутреннем, так и на внешнем рынке.

Библиографический список

1. «Ростех» нацелился создавать российский Bluetooth, Wi-Fi, NFC и интернет вещей // CNews. [Электронный ресурс]. — 2019. — Режим доступа: https://www.cnews.ru/news/top/2019-12-26_rosteh_natselilsya_sozdavat. — Дата доступа: 05.02.2022
2. Руководство разработчика устройств LoRaWAN сети ЛАРТЕХ. Версия 1.1 — СПб.: Бизнес-центр «Выборгская Застава». — 2015. — 63 с. — Режим доступа: <https://lar.tech/images/pdf/lorawan-lartech.pdf>. — Дата доступа: 05.02.2022.
3. IEEE Std 802.15.4-2011, IEEE Standard for Local and metropolitan area networks — Part 15.4: Low-Rate Wireless Personal Area Networks (LR-WPANs) [Электронный ресурс]. — USA (New York): The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc. (IEEE), 2011. — 294 с. — Режим доступа: https://standards.ieee.org/standard/802_15_4-2011.html. — Дата доступа: 05.02.2022.
4. Галкин, В.А. Цифровая мобильная радиосвязь. Учебное пособие для вузов. / В.А. Галкин. — М.: Горячая линия — Телеком, 2007. — 432 с.
5. Объем российского рынка межмашинных коммуникаций и IoT достиг 93,5 млрд рублей // Средство массовой информации it-world.ru. [Учредитель: ООО «ИТ Медиа»]. [Электронный ресурс]. — 2022. — Режим доступа: <https://www.it-world.ru/it-news/reviews/181517.html>. — Дата доступа: 05.02.2022

УДК 004.318; ГРНТИ 50.09.33

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРОЦЕССОРА ОМАР-L138 В ЦИФРОВОЙ ОБРАБОТКЕ СИГНАЛОВ

П.В. Катков

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

Аннотация. В данной работе рассматривается запуск IPC (Inter Process Communications – межпроцессорное/межъядерное взаимодействие) на Windows и Linux на отладочном модуле ОМАР-L138.

Ключевые слова: IPC, ОМАР-L138, ARM, DSP, CCS (Code Composer Studio).

OMAP-L138 PROCESSOR APPLICATION FOR DIGITAL SIGNAL PROCESSING

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 run an IPC (Inter Process Communications) on Windows and Linux on a debug module OMAP-L138.

Keywords: IPC, OMAP-L138, ARM, DSP, CCS (Code Composer Studio).

Целью данной работы являлся запуск IPC на отладочном модуле ОМАР-L138 между ядрами ARM и DSP, а также проверка их работоспособности, путём запуска простейшего примера «Hello world!» на каждом ядре.

Проверка работоспособности ядер ARM и DSP. Запуск IPC в CCS на ОС Windows

Подключение к отладочному модулю

Для того, чтобы подключиться к отладочному модулю необходимы: USB-кабель, блок питания и карта памяти. В начале следует проверить, что все переключатели на плате находятся в выключенном состоянии, кроме переключателей режима загрузки под номерами 5 и

8. Далее следует вставить карту памяти в слот, который находится рядом со входом аудио-кабеля [1].

Отладочный модуль подключается к портативному компьютеру (ПК), чтобы установить соединение. Затем подключается блок питания и включается плата (POWER ON).

Создание шаблонного проекта «Hello world!»

Для создания проекта понадобится среда программирования Code Composer Studio v.7.0.1. После запуска предлагается выбрать директорию для создания рабочего пространства. Назовём его D:\019M\TI_Demo_IPC_examples. В появившемся окне создаём новый проект: File > New > Project. Выбираем Code Composer Studio > CCS Project. Нажимаем «Next». Настраиваем проект так, как показано на рисунке 1.

Для построения базового примера, а также дальнейшей простой проверки подключения и работоспособности ядер ARM (ARM9) и DSP (C67XX) выбираем Basic Examples > Hello World. Назовём проект «ARM_Hello_World». Нажимаем «Finish».

После этого в вашей рабочей папке (рабочем пространстве) появится проект ARM_Hello_World.

Чтобы увидеть проект в рабочем пространстве CCS необходимо нажать View > Project Explorer. На этом этапе, для удобства выполнения дальнейшей работы, можно настроить рабочее пространство. Слева в рабочей области мы можем видеть файл hello.c. Это простой пример вывода «Hello World!». Его содержимое представлено ниже:

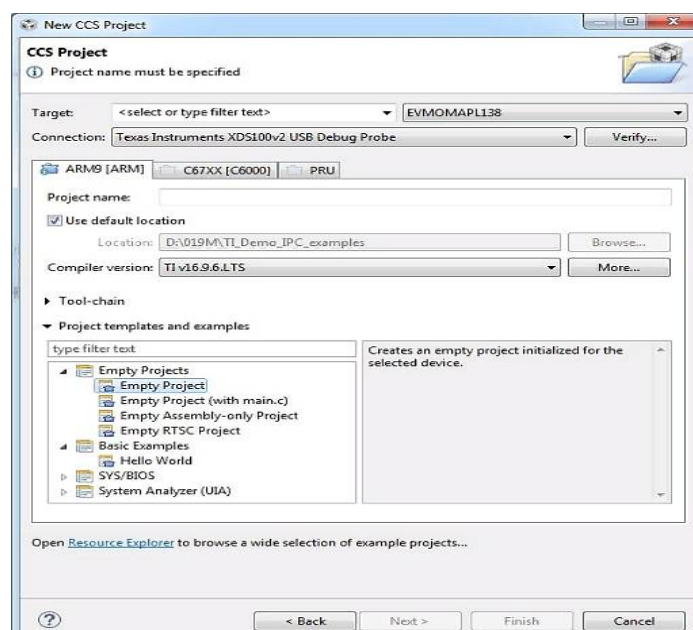


Рис. 1. Настройка проекта

Листинг №1. Содержимое файла hello.c

```
int main(void)
{
printf("Hello World!\n");
return 0;
}
```

После выполнения операций выше, необходимо собрать проект, чтобы получить исполняемый файл. Для этого нужно нажать на кнопку  (Build Project) в верхней области среды и в результате в папке Debug появляется исполняемый файл с расширением *.out (если исполняемый файл не создаётся и среда разработки сообщает о наличии ошибок, то ошибки необходимо исправить и заново собрать проект). Этот файл необходимо загрузить на ядра ARM9 и C67XX.

Подключение к плате из рабочей среды

Для того, чтобы загрузить исполняемый файл на ядра, необходимо подключиться к плате из рабочей среды. Для этого нажимаем File > New > Target Configuration File. Имя файла выбираем OMAP_L138.ccxml и нажимаем «Finish». В появившемся окне выбираем те же параметры, которые показаны на рисунке 2.

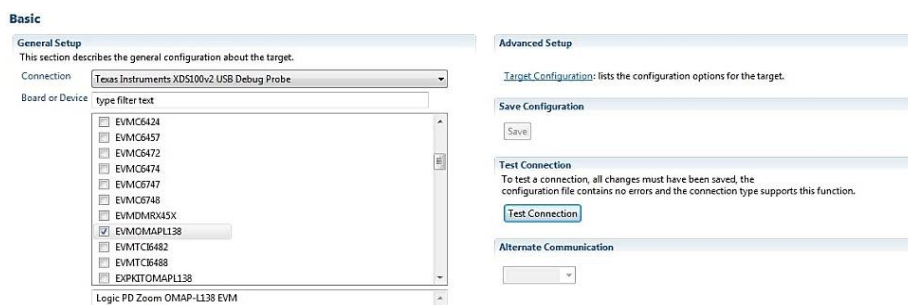


Рис. 2. Настройки подключения к плате

Нажать Save.

После успешного подключения, необходимо нажать правой кнопкой мыши (ПКМ) на файл OMAP_L138.ccxml и выбрать Launch Selected Configuration, либо же нажать на  (Debug Project) в верхней области среды. После этого должно появиться окно перспективы отладки.

Для установления соединения с ядрами кликаем ПКМ по нужному нам ядру (в данном случае это ARM9 и C674X) и выбираем  (Connection Target). После установления соединения необходимо загрузить полученный нами исполняемый файл на ядра. Для этого выбираем нужное ядро (группу ядер) нажимаем Run > Load Program. В появившемся окне в строке Program file необходимо указать путь до исполняемого файла ARM_Hello_World.out, который находится в папке ARM_Hello_World\Debug. После этого путь до скомпилированного файла будет появляться в выпадающем списке.

Когда программа загрузится на плату, её можно запустить на выполнение. Для чего нажимаем  (Resume) или клавишу F8.

После выполнения программы в консоли должно отобразиться «Hello World!» от двух ядер (ARM9 и C674X). Подключение и проверка работоспособности нужных ядер на простом примере прошла успешно.

Запуск IPC между ядрами ARM9 и C674X

Для построения примера IPC мы создаём уже новый проект. При этом нужно выбрать пустой проект Empty Projects > Empty Project для того, чтобы скопировать туда необходимые для редактирования и компиляции файлы.

Заходим в папку с примерами IPC (ipc_3_50_04_08) и выбираем ex02_messageQ. Суть примера проста: пользователь создает сообщение для передачи данных. Загружает програм-

му на Хост (ARM9). Хост отправляет сообщение подчиненному ядру (DSP) с фиктивной полезной нагрузкой. Затем подчинённое ядро отправляет сообщение обратно хосту. Этот процесс повторяется 14 раз. Затем хост отправляет подчиненному сообщение о завершении работы. Подчиненное устройство возвращает сообщение, выключается и повторно инициализируется для будущих запусков.

Для запуска данных примеров необходимо в начале отредактировать нужные файлы (products.mak, так как makefile обращается к нему при сборке) и уже потом пробовать компиляцию makefile (рисунок 3) [2].

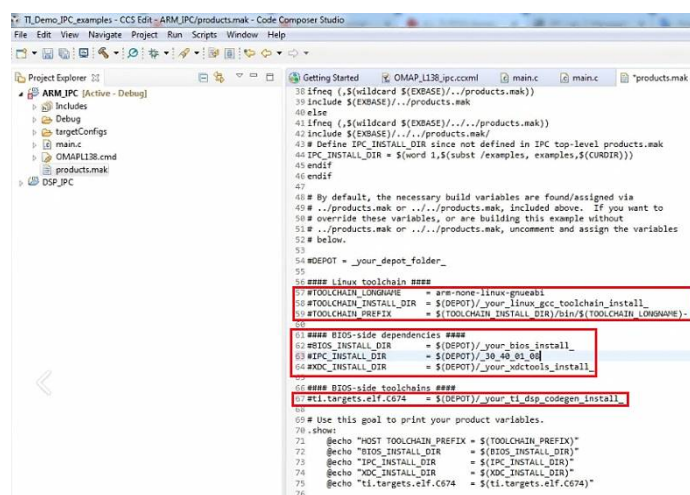


Рис. 3. Редактирование файла products.mak

При компиляции файла для ядра DSP возникают ошибки в самом makefile, которые говорят о том, что он не может найти подключаемые библиотеки. Одна из них – «ti.target.arm.elf». Расширение elf - это Executable Linux Format, это означает, что в папке лежат исполняемые файлы, скомпилированные под Linux, под Windows они просто не будут работать. На основании этого можно сделать вывод, что запуск IPC не возможен на ОС Windows и дальнейшие попытки не увенчаются успехом.

Хочется подчеркнуть, что в папке с примерами для OMAP-L138 находятся лишь папки с суффиксом elf. Из этого можно сделать вывод, что для данной платформы запуск IPC возможен только на ОС Linux.

Запуск IPC на ОС Linux

Для того, чтобы подготовиться к работе с IPC, необходимо скачать пакет SDK (Software Development Kit (комплект для разработки программного обеспечения)). Далее устанавливаем его в удобное место и начинаем работу.

В терминале заходим в папку с примером ex02_messageQ. Как и в примере выше, нам необходимо исправить файл products.mak для корректной работы makefile (указываем текущие версии bios, ipc и xdc, а также путь к этим папкам (все они находятся в папке SDK)). Сохраняем изменения в файле и пробуем запустить утилиту make. После чего видим ошибки (рисунок 4):

```

mrshlap@mrshlap02:~/sdk/lpc_3_50_04_08/examples/OMAPL138_linux_elf/ex02_messageq$ make
# Making dsp ...
make -C dsp PROCLIST="dsp host"
make[1]: вход в каталог «/home/mrshlap/sdk/lpc_3_50_04_08/examples/OMAPL138_linux_elf/ex02_messageq/dsp»
make PROFILE=debug PROCLIST="dsp host" server_dsp.x
make[2]: вход в каталог «/home/mrshlap/sdk/lpc_3_50_04_08/examples/OMAPL138_linux_elf/ex02_messageq/dsp»
#
# Making bin/debug/configuro/.config ...
your_depot_folder/_your_xdctools_install/_xs --xdcpath=_your_depot_folder/_your_bios_install/_packages;/home/mrshlap/sdk/lpc_3_50_04_08/packages;_your_depot_folder/_your_xdctools_install/_your_pdk_install/_packages;.* \
xdc.tools.configuro -o bin/debug/configuro \
-t ti.targets.elf.C674 \
-C \
-p ti.platforms.evmOMAPL138:dsp \
-B ../dsp/config.bld \
-r debug \
Dsp.cfg
/bin/sh: 1: _your_depot_folder/_your_xdctools_install/_xs: not found
make[2]: *** [makefile:80: bin/debug/configuro/.config] Ошибка 127
make[2]: вход из каталога «/home/mrshlap/sdk/lpc_3_50_04_08/examples/OMAPL138_linux_elf/ex02_messageq/dsp»
make[1]: *** [makefile:59: debug] Ошибка 2
make[1]: вход из каталога «/home/mrshlap/sdk/lpc_3_50_04_08/examples/OMAPL138_linux_elf/ex02_messageq/dsp»
make: *** [makefile:51: dsp] Ошибка 2

```

Рис. 4. Ошибки при пробном запуске команды make

Далее необходимо исправлять появляющиеся ошибки, чтобы корректно запустить данный пример. В настоящий момент исследование продолжается.

Заключение

В дальнейшем, исследования будут проводиться на ОС Linux для исправления ошибок и получения необходимых файлов для работы непосредственно с отладочной платформой OMAP-L138. Планируется установка и запуск CCS на ОС Linux.

Библиографический список

1. «Цифровые сигнальные процессоры», методические указания к выполнению практических работ, Витязев С.В., Рязань 2017.
2. https://software-dl.ti.com/processor-sdk-rtos/esd/docs/latest/rtos/index_Foundational_Components.html#ipc-examples (Запуск примеров IPC).

УДК 621.391.1; ГРНТИ 49.33.01

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ ПОДВИЖНЫХ ОБЪЕКТОВ В ЛОКАЛЬНЫХ БЕСПРОВОДНЫХ СЕТЯХ

П.А. Дудин

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

Аннотация. Рассматривается задача определения местоположения объектов локальной беспроводной сети. Приводятся постановка задачи, основные особенности, а также оценка точности локализации.

Ключевые слова: оценка силы принимаемого сигнала (RSSI), позиционирование подвижных объектов, ошибка локализации.

LOCALIZATION OF MOBILE STATIONS IN A WIRELESS LAN

P.A. Dudin

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

The summary. The paper discusses problem of localization of stations in a WLAN. Given formulation of the problem, advantages and location accuracy estimation.

Keywords: received signal strength indicator (RSSI), positioning of mobile units, localization error.

Постановка задачи определения координат в локальной беспроводной сети формулируется следующим образом [1]. Предположим, что в некоторой области пространства размером $S = A \times B$ случайным образом расположены объекты беспроводной сети $\{i\}$, где

$i = [1, \dots, M]$. Данные объекты имеют средства радиосвязи, с помощью которых осуществляется обмен данными и имеется возможность определять расстояние d до ближайших объектов, с которыми установлена связь в определенном радиусе L , наряду с этим, исходя из метода определения расстояний, известна точность выполняемых измерений. Каждый объект сети i производит измерения и информацию о расстояниях до ближайших соседей j накапливает в таблице $T_i = \{j, d_{ij}\}$. Требуется определить координаты объектов $\vec{r}_i$, т.е. необходимо решить систему уравнений вида:

$$|\vec{r}_i - \vec{r}_j| = d_{ij}, \quad (1)$$

где d_{ij} – измеренное расстояние от i до j , содержащее погрешность измерения описываемую распределением $F(d_{ij}, \sigma_{ij})$, где $i, j = [1, \dots, M], i \neq j$.

Обычно в роли функции распределения F используется нормальное распределение $N(0, \sigma_{ij})$, а дисперсия ошибки измерения d вычисляется методом оценки расстояния, и может быть оценена теоретически, с помощью моделирования, или экспериментально. В рассматриваемой задаче предполагается, что сеть развернута на плоской поверхности, т.е. двумерный случай ($\vec{r}_i = |x_i, y_i|^T$) – это упрощает теоретическое рассмотрение и дальнейшую реализацию.

Решение задачи зависит от таких факторов, как: базис системы координат (объектов сети с заранее известными координатами), точность измерений расстояний, характер распределения объектов локальной сети (однородность, плотность). Как следует из (1), исходной информацией для определения местоположения подвижных объектов в локальной беспроводной сети является измерения расстояний d_{ij} , следовательно результат непосредственно определяется точностью измерений, в независимости от конкретного метода. Измерение расстояний обычно производится на основе методов времени распространения сигнала (Time of Arrival – ToA), либо на основе оценки уровня (силы) принимаемого сигнала (Received Signal Strength Indicator – RSSI) [2]. При исследовании сети, построенной на основе устройств, организующих современные стандарты беспроводных локальных сетей, наиболее предпочтительным вариантом является использование метода RSSI, так как большинство из них аппаратно поддерживают эту возможность.

Оценка расстояния методом RSSI определяется из:

$$P(d)[\text{дБм}] = P(d_0)[\text{дБм}] - 10 \cdot n \cdot \log_{10}(d/d_0), \quad (2)$$

где P – уровень принимаемого сигнала, дБм;

n – показатель ослабления;

d/d_0 – относительная ошибка оценки расстояния.

В свободном пространстве относительная ошибка оценки расстояния имеет одинаковое распределение независимо от расстояний между объектами и аппроксимируется нормальным распределением. Дисперсия нормального распределения σ_d определяется имитационным моделированием или экспериментом.

С целью оценки результатов возможно применять разные критерии, например:

1. Процентное отношение числа подвижных объектов, координаты которых удалось определить, к общему числу подвижных объектов в зависимости от плотности сети и точности измерения расстояний;

2. Среднеквадратичное отклонение оценок расстояний, полученных в результате работы данного алгоритма от соответствующих оценок расстояний, полученных на основе RSSI;

3. Отклонение оценок расстояний, полученных в процессе работы сети от результатов работы алгоритма определения координат.

Нужно отметить, что каждый из вышеперечисленных параметров индивидуально не может быть абсолютной метрикой эффективности определения местоположения, кроме того – возможно отклонения в различные стороны с учетом от определенной реализации топологии локальной беспроводной сети. Вследствие чего при рассмотрении конкретного способа локализации подвижного объекта следует учитывать данные, полученные в результате усреднения по весьма большому числу реализаций разных топологий, которые идентичны между собой по числу подвижных объектов M , занимаемой площади S , и прочим условиям.

Оценка точности определения местоположения

Проблему позиционирования представим как вычисление местоположения подвижных объектов по измерениям в момент времени k :

$$\hat{\theta}(k) = e[z(k)], \quad (3)$$

где $\hat{\theta}(k) = [\hat{p}_x(k) \hat{p}_y(k)]^T$ – предполагаемое местоположение на дискретном интервале k ;

$e[z(k)]$ – оценочная функция, которая соотносит значения результатов измерений ожидаемым местоположениям подвижных объектов.

Проанализируем критерии эффективности алгоритмов позиционирования узлов локальной беспроводной сети, чаще всего упоминаемых в литературе: средняя погрешность определения расстояния (MDE), среднеквадратичная погрешность (MSE), корень из среднеквадратичной погрешности (RMSE), геометрическое растворение точности (GDOP), циркулярная вероятность ошибки (CEP). Самые распространенные алгоритмы – MDE, MSE и RMSE. Перечисленные критерии дают количественные значения для магнитуды ошибки. MDE – это среднее значение отклонения ожидаемого местоположения подвижного объекта от его истинного положения.

$$MDE(k) = E\{\sqrt{[p_x(k) - \hat{p}_x(k)]^2 + [p_y(k) - \hat{p}_y(k)]^2}\},$$

где $E[\cdot]$ – оператор математического ожидания.

MSE – квадрат расстояния между предположительным местоположением подвижного объекта и его истинным положением.

$$MSE(k) = E\{[p_x(k) - \hat{p}_x(k)]^2 + [p_y(k) - \hat{p}_y(k)]^2\}.$$

RMSE – является квадратным корнем от MSE:

$$RMSE(k) = \sqrt{MSE(k)}.$$

Достоинство MDE заключается в уровне полезных измерений в дополнительной области позиционирования. Но при этом данный алгоритм сложен с точки зрения вычислений. В то же время, применение MSE просто теоретически, однако на практике хуже справляется с вычислением реальных расстояний. В качестве компромисса, чаще всего используется RMSE-критерий. RMSE прост в расчетах и отличается хорошей характеристикой. RMSE всегда больше MDE:

$$Var[MDE(k)] \geq 0 \rightarrow MSE(k) - [MDE(k)]^2 \geq 0 \rightarrow MSE(k) \geq [MDE(k)]^2 \rightarrow \quad (4)$$

$$\rightarrow RMSE(k) \geq MDE(k),$$

где $Var[\cdot]$ – статистический оператор отклонений.

По причине нелинейности зависимости между позицией подвижных объектов и доступными векторами измерений, магнитуда ошибки позиционирования зависит от нахождения подвижного объекта относительно базовых станций сети. Критерий GDOP (геометрического растворения точности) важен для оценки зависимости местоположения от ошибок по-

зиционирования. GDOP возможно вычислить, как отношение ошибки RMSE к стандартной девиации ошибок измерения:

$$GDOP = \frac{RMSE}{\sqrt{Var(\text{помехи при измерении})}} \quad (5)$$

GDOP важен для оценки выборок по результатам измерений с разнообразных объектов в данной системе позиционирования. Высокое значение GDOP показывает, что геометрия расположения базовых станций сети не подходит для точного определения координат.

Ошибку позиционирования подвижных объектов можно разделить на 2 части: уклон, является постоянным вектором ошибки позиционирования, выводящийся из нелинейности взаимосвязи результатов вычисления и действительного местоположения и вектора случайных ошибок процесса позиционирования. CEP показывает собой радиус окружности для истинного местоположения подвижного объекта, включающего половину ожидаемых положений объекта. Характеристика CEP дает количественные значения магнитуды числа случайных ошибок позиционирования. Данные критерии оценки точности (эффективности) изучены преимущественно для случаев прямой видимости объектов позиционирования, в случае доступности прямой видимости для распространения радиосигнала. Тем не менее в общих случаях наиболее вероятно, что потребуются другие критерии оценки точности.

Библиографический список

1. J. Blumenthal, C. Buschmann "Minimal Transmission Power as Distance Estimation for Precise Localization in Sensor Networks". — 2006.
2. Шахнович С. Современные беспроводные технологии. — СПб.: Питер, 2004.

СЕКЦИЯ «АКТУАЛЬНЫЕ ЗАДАЧИ ХИМИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ»

УДК 547.271; ГРНТИ 31.21.21

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ОБЩЕЙ МАССЫ
ЗАГРУЗКИ КАТАЛИЗАТОРА НА ЕГО АКТИВНОСТЬ
В ПРОЦЕССЕ ЭПОКСИДИРОВАНИЯ МЭЖК****С.А. Юдаев, К.А. Ветшев, А.Д. Рубцова***Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань, adr1999@list.ru*

Аннотация. В работе изучено влияние общей массы загрузки катализатора на его активность в процессе эпексидирования метиловых эфиров жирных кислот (МЭЖК). Выведены основные закономерности закоксывания катализатора, степени эпексидирования исходного сырья в зависимости от рассматриваемого параметра.

Ключевые слова: эпексидирование, метиловые эфиры жирных кислот, биодизельное топливо, каталитические процессы, катализаторы прямого окисления.

**RESEARCH OF THE EFFECT OF THE TOTAL WEIGHT
OF THE CATALYST LOADING ON ITS ACTIVITY
IN THE PROCESS OF FAME EPOXIDATION****S.A. Yudaev, K.A. Vetshev, A.D. Rubtsova***Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,
Russia, Ryazan, adr1999@list.ru*

The summary. The effect of the total mass of the catalyst loading on its activity during the epoxidation of fatty acid methyl esters (FAME) was studied. The basic laws of the catalyst coking are derived depending on the parameter under consideration, the degree of epoxidation of the feedstock.

Keywords: epoxidation, fatty acid methyl esters, biodiesel, catalytic processes, direct oxidation catalysts.

В настоящее время по ряду причин, среди которых уход от топлив нефтяного происхождения, актуальной задачей химической технологии является исследование путей получения энергоносителей из экологичного возобновляемого сырья [1]. В качестве альтернативы нефтепродуктам предлагаются эпексидированные метиловые эфиры жирных кислот (эпекси-МЭЖК).

Эпекси-МЭЖК – это, прежде всего, перспективный источник энергии. Однако следует также отметить, что они находят широкое применение в качестве сырья для производства продуктов органической химии - различных пластификаторов и стабилизаторов ПВХ изделий [2].

Сейчас уже имеется ряд научно-исследовательских работ, связанных с разработкой и оптимизацией различных технологий эпексидирования МЭЖК. Данное исследование посвящено изучению процесса окисления рассматриваемых веществ кислородом воздуха. Основная цель заключается в изучении зависимости активности катализатора, массы отложенного кокса на нем от общей массы загрузки в процессе прямого окисления МЭЖК [3,4].

Качественные характеристики катализатора и состав исходного сырья представлены в таблицах 1 и 2. На рисунке 1 представлен внешний вид используемого катализатора.

Таблица 1. Качественные характеристики катализатора

Концентрация активных компонентов, %масс.		ППП, %	Общий объем пор, см ³ /г	Удельная поверхность, м ² /г	Насыпной вес, г/см ³	Прочность, Н/гранула	Треск, %
MoO ₃	TiO ₂						
12,95	6,14	0,9	0,75	338	0,53	14,5	3

Таблица 2. Состав исходного сырья

МЭЖК	Состав, % масс				
	C16	C18/0+1	C18/2	C18/3	C20
Подсолнечные	6,5	35,8	56,3	1,4	0,9



Рис. 1. Внешний вид катализатора до проведения синтеза

Для проведения экспериментов с помощью аналитических весов были отмерены навески катализатора по 15, 12, и 9 грамм для загрузки реактора. Далее было залито 100 мл окисляемого сырья – МЭЖК, установлена подача окислителя с постоянным расходом 26 л/ч. Контроль расхода воздуха производился посредством ротаметра. Температура проведения синтеза 120°C поддерживалась с помощью ПИД-регулятора. После достижения заданной температуры каждый час производился отбор проб для анализа на степень эпексидирования исходного сырья. Общая продолжительность синтеза - 6 часов.

По его окончании были произведены замеры массы отработанного катализатора, рассчитаны массы отложений кокса.

Отобранные в процессе синтеза пробы были изучены на степень эпексидирования посредством анализа на ИК-Фурье Спектрометре ФСМ 2202 производства компании «Инфраспек». Под степенью эпексидирования в данном случае понимается количество эпексидных соединений, которые были получены в результате синтеза относительно всей реакционной массы. Расчетным путем были получены концентрации подвергаемых синтезу МЭЖК (непредельных фрагментов) и получаемых эпексидных соединений (активного кислорода). По полученным данным построены кинетические кривые, которые представлены на рисунках 2 и 3.

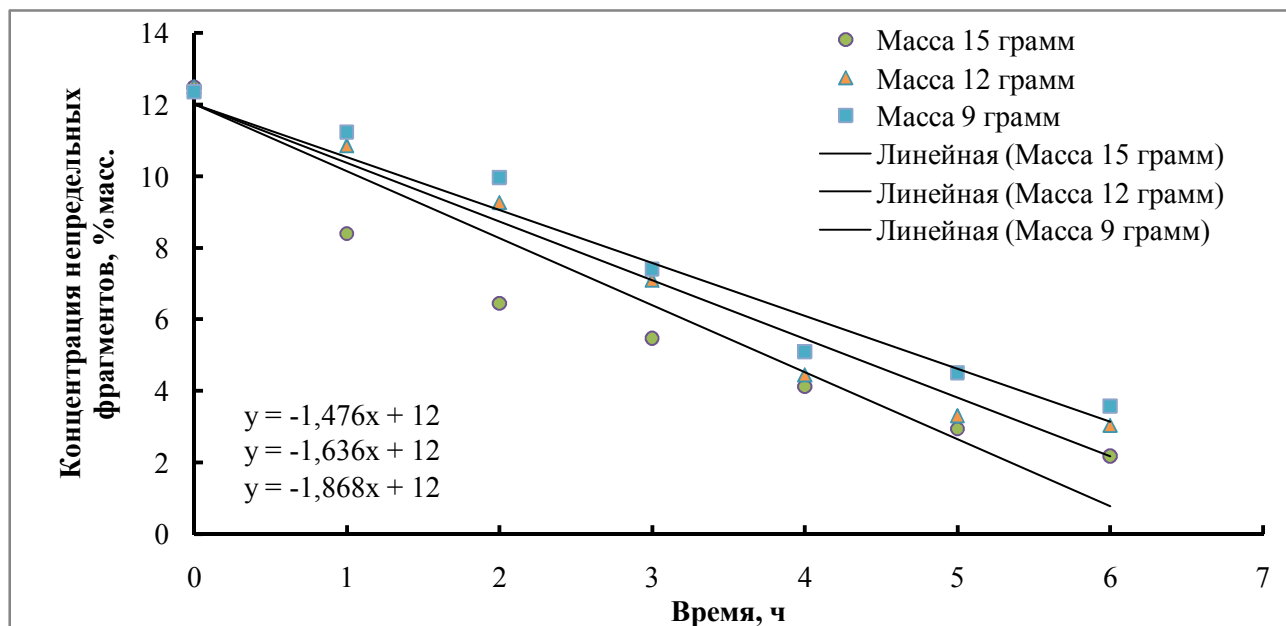


Рис. 2. График зависимости концентрации подвергаемых синтезу МЭЖК (непрелых фрагментов) при различной массе загрузки катализатора

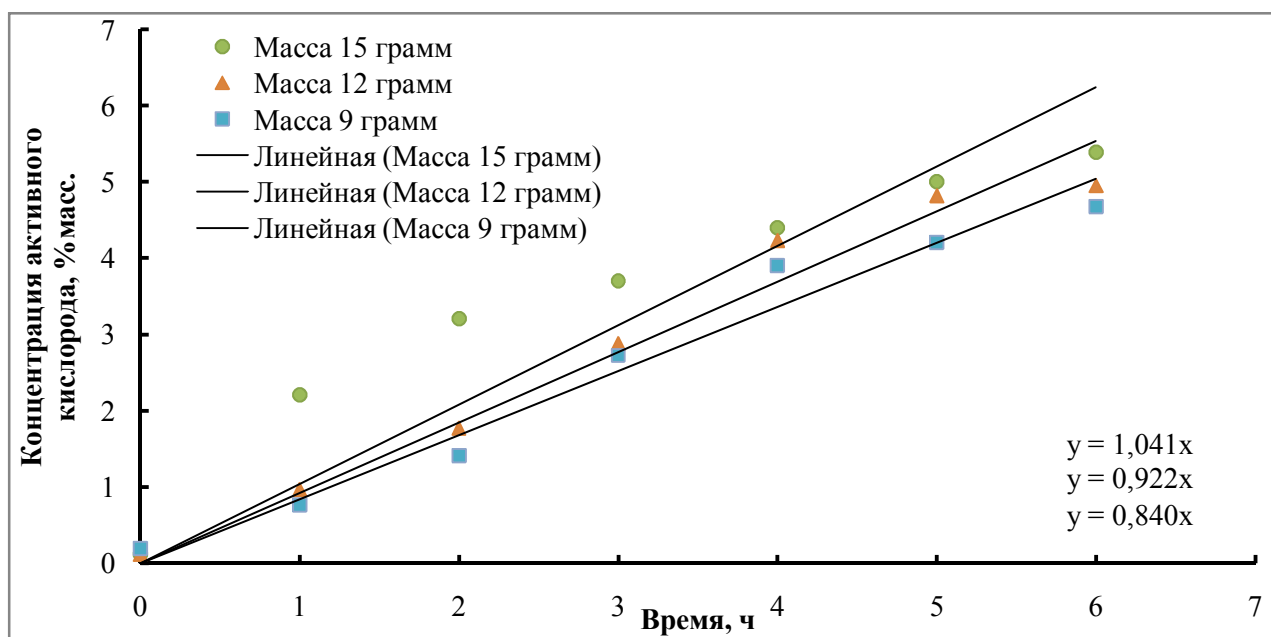


Рис. 3. График зависимости концентрации получаемых эпоксидных соединений (активного кислорода) от времени проведения синтеза при различной массе загрузки катализатора

Из предложенного графического материала можно сделать общий вывод, что с увеличением массы загрузки катализатора повышается также и его активность: большее количество МЭЖК преобразуется в процессе синтеза в эпоксидные соединения.

Закоксованные катализаторы были прокалены в муфельной печи при температуре 550°C в течение 3 часов. В конце операции для каждой исследуемой навески была определена масса. На основании полученных значений масс до прокаливания и после были рассчитаны их разность и потери при прокаливании (ППП). При определении PPP использовалась формула (1).

$$\text{ППП} = \frac{m_1 - m_2}{m_n}, \quad (1)$$

где m_1 - масса навески после синтеза, г;

m_2 - масса навески после прокаливания, г;

m_n – масса навески до синтеза (начальная), г.

Внешний вид катализатора до и после прокаливания представлен на рисунке 4.



Рис. 4. Внешний вид катализатора до (слева) и после (справа) операции прокаливания

Результаты замера масс до синтеза, после него и после прокаливания, а также рассчитанные значения массы отложений и ППП катализатора представлены в таблицах 3 и 4 соответственно.

Таблица 3. Результаты определения массы катализатора до и после синтеза

№ п/п	Масса до синтеза, г	Масса после синтеза, г	Масса отложений, г
1	15,000	18,903	3,903
2	12,000	15,574	3,574
3	9,000	11,703	2,703

Таблица 4. Результаты определения массы и ППП катализатора до и после прокаливания

№ п/п	Масса до прокаливания, г	Масса после прокаливания, г	Масса выжига, г	ППП, %
	18,903	15,263	3,64	24,27
	15,574	12,043	3,531	29,43
	11,703	9,374	2,329	25,88

Прослеживается существенное влияние общей массы загрузки катализатора на его закоксовываемость и, как следствие, активность в процессе эпоксидирования. Таким образом, представляется возможным вывести следующую зависимость: с уменьшением массы загрузки катализатора также снижается и масса коксовых отложений на нем в процессе синтеза, что, в свою очередь, приводит к поддержанию его каталитической активности на достаточно высоком уровне.

Обсуждая результаты определения ППП нельзя сделать однозначный вывод о влиянии общей массы загрузки на обсуждаемый параметр. Для этого необходимо делать комплексный анализ характеристик регенерированного катализатора, который будет выполнен в дальнейших исследованиях.

Библиографический список

1. Прохоров В.В. Декарбонизация национальной экономики //Современные тенденции управления и экономики в России и мире: цивилизационный аспект. – 2021. – с. 167-169.
2. Канаков Е.А. и др. Исследование процесса эпексидирования метиловых эфиров жирных кислот с использованием катализаторов на основе иммобилизованной фосфорновольфрамовой кислоты //Физика. Технологии. Инновации (ФТИ-2019). – 2019. – С. 435-436.
3. Кулажская А.Д. и др. Эпексидирование метиловых эфиров жирных кислот подсолнечного масла кислородом воздуха //Успехи в химии и химической технологии. – 2015. – Т. 29. – №. 7 (166).
4. Юдаев С.А. Разработка основ технологии эпексидирования метиловых эфиров жирных кислот кислородом воздуха : научный доклад / С.А. Юдаев ; Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ), Управление магистратуры, аспирантуры и докторантуры (УМАД), Отдел аспирантуры и докторантуры (ОАиД) ; науч. рук. Е.Н. Ивашкина. — Томск, 2019.

УДК 665.733.5; ГРНТИ 61.51.29

МИНИМИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА ТОВАРНОГО ПРЯМОГОННОГО БЕНЗИНА НА АО «РНПК»

С.Н. Райович, А.Р. Семенов

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

Аннотация. В работе проводится оценка возможности снижения производства прямогонного бензина в сторону увеличения более дорогостоящих автомобильных бензинов путем оптимизации сырья и направления потоков установки Л-35-6/300.

Ключевые слова: инженерное моделирование, прямогонный бензин (БГС), автомобильный бензин, риформинг, изомеризация.

PRODUCTION MINIMIZATION OF COMMERCIAL STRAIGHT-RUN GASOLINE AT RNPК JSC

S.N. Rajovich, A.R. Semenov

*Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,
Russian Federation, Ryazan, sezhana.rayovich@gmail.com*

Abstract. The possibility of reducing the production of straight-run gasoline in the direction of increasing more expensive motor gasoline by optimizing the feedstock and directing the flows of the L-35-6/300 unit is evaluated.

Keywords: engineering modeling, straight-run gasoline (SNG), motor gasoline, reforming, isomerization.

Производство растворителей П1-63/75 и С2-80/120 существенно превышает спрос на них. Из избытка этих низкооктановых компонентов и фракции НК-65 и П1-63/75 с установки Л-35-6/300, а также других компонентов осуществляется производство товарного прямогонного бензина (БГС) [1]. Для решения проблемы предлагается изменить конец кипения фракции 85-105 и направить избытки НК-65 и П1-63/75 с установки Л-35/6 на установку низкотемпературной изомеризации ИЗОМАЛК-2-ЛИН-800 [2].

Целью данной работы является рассмотрение и выбор наиболее оптимального варианта увеличения дорогостоящих автомобильных бензинов за счет оптимизации сырья и направления потоков установки Л-35-6/300.

Изменение границ деления фракции 85-105

Для изменения границ деления фракций 85-105 и 105-180 в сторону снижения конца кипения фракции 85-105 требуется изменение режима работы блоков вторичной перегонки АВТ-4 и АТ-6 и колонны К-201 на установке 12/1 [3]. В результате данных поправок проис-

ходит увеличение производства риформата, являющегося высокооктановым компонентом товарного бензина, на топливных риформингах за счет компонентов не попавших во фракцию 85-105.

Оценка изменения материального баланса установки ЛГ-35-8/300 [4] производилась в программе Aspen Hysys и приведена в таблице 1.

Таблица 1. Материальный баланс установки ЛГ-35-8/300

№	Наименование параметра	Базовые значения		Со снижением НК ФР 105-180	
		т/ч	% масс	т/ч	% масс
Поступило					
1	Фракция ГО 105-180	38,72	100,00	38,72	100,00
2	ИТОГО	38,72	100,00	38,72	100,00
Получено					
3	Стабильный катализат	34,83	89,95	34,92	90,19
4	ВСГ	3,40	8,78	3,34	8,63
5	Газ К-2	0,25	0,65	0,25	0,64
6	Газ Е-2	0,24	0,62	0,21	0,54
8	ИТОГО	38,72	100,00	38,72	100,00

Результаты расчета материального баланса установки Л-35-6/300 [5], произведенная в программе Aspen Hysys при условии полного деления рафината, полученного на блоке экстракции представлены в таблице 2.

Таблица 2. Материальный баланс установки Л-35-6/300

№	Наименование параметра	Базовые значения		Со снижением НК ФР 105-180	
		т/ч	% масс	т/ч	% масс
Поступило					
1	Сырье смесевое	32,84	100,00	22,53	100,00
2	ИТОГО	32,84	100,00	22,53	100,00
Получено					
3	ВСГ	2,00	6,09	1,17	5,19
4	Газ сухой	1,52	4,63	0,93	4,13
5	Рефлюкс	0,90	2,74	0,27	1,20
6	НК-65	-	-	1,44	6,39
7	Комп. Бензола	4,47	13,60	4,33	19,22
8	Комп. Толуола	5,56	16,93	2,32	10,30
9	Комп. Сольвента	0,45	1,36	0,01	0,04
10	Комп. П1	8,89	27,07	8,88	39,41
11	Комп. С2	5,52	16,81	2,99	13,27
12	Рафинат	3,54	10,77	0,19	0,85
13	ИТОГО	32,84	100,00	22,53	100,00

Направление избытков компонента П1-63/75 и НК-65 на УНТИ

Данный вариант оптимизации предполагает снижение конца кипения фракции 85-105 и заведение избытков П1-63/75 и НК-65 на установку низкотемпературной изомеризации.

Такой подход поможет минимизировать производство С2-82/120 и тяжелой части рафината, а также увеличить выход изогексановой фракции, обладающий большим октановым числом и являющейся высокооктановым компонентом товарного бензина.

В качестве значения избытка компонента П1-63/75, направляемого на установки НТИ было взято значение общего выхода (при полном делении рафината на блоке растворителей), за исключением количества равного среднему значению спроса на нефрас П1-63/75. Изменение материального баланса установки НТИ, рассчитанное при помощи программы Aspen Hysys приведено в таблице 3.

Таблица 3. Материальный баланс установки ИЗОМАЛК-2-ЛИН-800

№	Наименование параметра	Базовые значения		Значения при переработке П1-63/75 и НК-65 на УНТИ	
		т/ч	% масс	т/ч	% масс
Поступило					
1	Стабильный г/г	69,57	99,33	69,57	88,41
2	Нефрас П1-63/75	0	0	7,21	9,16
3	НК-65	0	0	1,44	1,83
4	Подпиточный ВСГ	0,47	0,67	0,47	0,60
5	ИТОГО	70,04	100,00	78,69	100,00
Получено					
6	Изопентановая фракция	8,60	12,28	8,60	10,93
7	Изогексановая фракция	34,60	49,40	42,31	53,77
8	Кубовой продукт ДИГ	1,49	2,13	2,13	2,71
9	УВГ	2,75	3,92	3,05	3,87
10	ДИП в л.2005	22,60	32,27	22,60	28,72
11	ИТОГО	70,04	100,00	78,69	100,00

Технологические риски и возможные ограничения

В компоненте П1-63/75 наблюдается остаточное содержание ТЭГ, попадание которого на катализатор изомеризации недопустимо. Чтобы избежать данной проблемы необходимо обеспечить:

- Водную промывку рафината в К-10 на установке Л-35-6/300;
- Предварительную гидроочистку отходящих потоков установки Л-35-6/300, направляемых на УНТИ.

Зависимость изменения октанового числа стабильного катализата по исследовательскому методу от отбора фракции 85-105 от нефти, полученная на инженерной модели установки ЛГ-35-8/300Б представлена на рисунке 1.

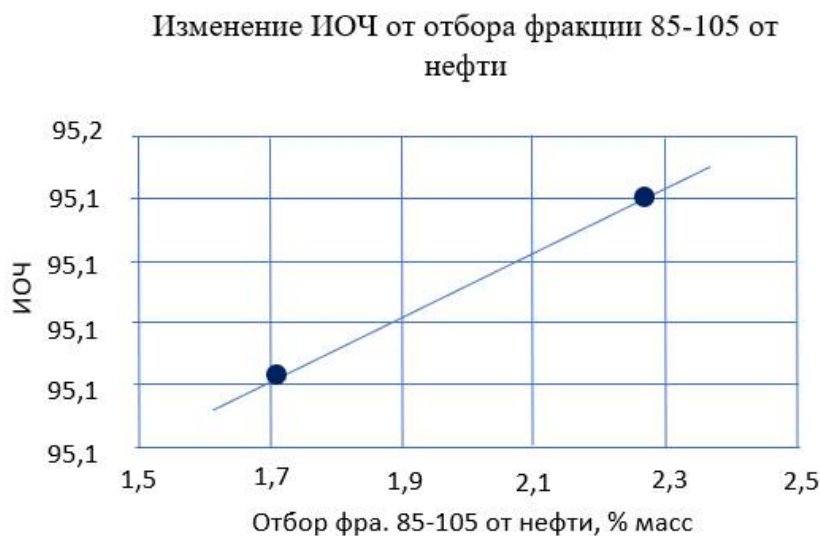


Рис. 1. Изменение ИОЧ от отбора фракции 85-105

Снижая начало кипения сырья, как следствие, наблюдается незначительное снижение октанового числа катализатора, что компенсируется увеличением его производства.

Библиографический список

1. Ахметов С.А. Технология глубокой переработки нефти и газа: Учебное пособие для вузов. Уфа: Гилем, 2002. 672 с.
2. Технологический регламент АО «РНПК». Объект 360-10 – установка низкотемпературной изомеризации ИЗОМАЛК-2-ЛИН-800 и объект 360-11 – промежуточный парк установки ИЗОМАЛК-2-ЛИН-800 цеха №3 по газокаталитическому производству. Рязань, 2020.
3. Технологический регламент АО «РНПК». Установка каталитического риформинга углеводородов ЛГ-35-8/300Б цеха №3 по газокаталитическому производству. Рязань, 2019 – 269 с.
4. Технологический регламент АО «РНПК». Установка каталитического риформинга углеводородов Л-35-6/300 цеха №3. Рязань, 2017 -363 с.
5. Технологический регламент АО «РНПК». Установка подготовки сырья для установки изомеризации и установок каталитического риформинга углеводородов тит. 12/1 цеха №3 по газокаталитическому производству. Рязань 2021 – 228 с.

УДК 66.02, ГРНТИ 61.51.17

НОРМАЛИЗАЦИЯ РАБОТЫ РЕАКТОРА ОКИСЛЕНИЯ СЕРНИСТОГО АНГИДРИДА УСТАНОВКИ ПРОИЗВОДСТВА СЕРНОЙ КИСЛОТЫ

Д.В. Степанов¹, Е.В. Воробьева²

*1 – Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань, stepanovd98@yandex.ru,*

*2 – Рязанский институт (филиал) Московского политехнического университета,
Российская Федерация, Рязань, vorobeva-70@bk.ru*

Аннотация. Рассмотрен способ нормализации работы реактора окисления сернистого ангидрида установки производства серной кислоты.

Ключевые слова: реактор, серная кислота, производство.

NORMALIZATION OF THE OPERATION OF THE SULFURIC ANHYDRIDE OXIDATION REACTOR OF THE SULFURIC ACID PRODUCTION UNIT

D.V. Stepanov, E.V. Vorobyeva

1 – Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,
Russia, Ryazan, stepanovd98@yandex.ru,

2 – Ryazan Institute (branch) of Moscow Polytechnic University,
Russia, Ryazan, vorobeva-70@bk.ru

Abstract. A method for normalizing the operation of the reactor for the oxidation of sulfurous anhydride of a sulfuric acid production unit is considered.

Keywords: reactor, sulfuric acid, production.

Установка производства серной кислоты предназначена для утилизации сероводорода, получаемого в процессе гидроочистки топлив, путем его сжигания в котлах-утилизаторах с образованием сернистого ангидрида SO_2 , который в дальнейшем окисляется в реакторах до серного ангидрида SO_3 с последующей конденсацией [1].

Реактор окисления сернистого ангидрида состоит из трех слоев ванадиевого катализатора. На первом слое происходит ~80% конверсии SO_2 в SO_3 , на втором – ~19%, на третьем – ~1%, и третий слой является страховочным – по отсутствию перепада температуры на нем или при его минимальной значении можно судить, что почти вся конверсия происходит на вышележащих слоях.

После каждого слоя происходит съем тепла, образовавшегося в процессе реакции, посредством охлаждения солевым расплавом. После первого и второго слоя для этого используются межслойные охладители Е-107 и Е-108 соответственно, а после третьего – газоохладитель Е-109. Охлаждение же самого солевого расплава происходит с помощью нагревания и испарения расплавом питательной воды с получением пара в теплообменнике Е-172, а также с помощью подогрева воздуха разбавления в теплообменнике Е-133, который поступает на смешение с технологическим газом перед реактором. Принципиальная схема реактора и солевой системы представлена на рисунке 1.

Ввод воздуха разбавления в технологический газ необходим для снижения мольной концентрации SO_2 с целью снижения температуры точки росы, которая может достигаться на выходе из реактора с частичной конденсацией H_2SO_4 непосредственно в газоходе, что вызывает его усиленную коррозию.

Актуальной проблемой данной установки, является нестабильная работа реактора окисления сернистого ангидрида.

Нестабильность работы реактора выражается в планомерном снижении перепада температур на первом слое реактора, что показывает снижение степени конверсии на нем и увеличение конверсии на втором и третьем слое.

Ввиду снижения температуры после первого слоя снижается и температура на выходе из Е-107, что, в свою очередь, снижает температуру воздуха разбавления на выходе Е-133, что, в свою очередь, снижает температуру технологического газа на входе в реактор, что, в свою очередь, вызывает еще большее снижение конверсии на первом слое ввиду того, что на работу катализатора сильно влияет температура, с которой происходит реакция.

В данный момент для нормализации работы реактора кратковременно снижают расход воздуха разбавления для увеличения температуры на входе в реактор и уменьшения объема технологического газа ввиду того, что на работу катализатора влияет также и объем газа, проходящего через катализатор в единицу времени.

Как только расход воздуха разбавления был снижен с 19000 м^3 до 15000 м^3 , началось повышение температуры на входе в реактор, после первого слоя, на выходе из Е-107 и на выходе из Е-133, что наглядно представлено на рисунке 2.

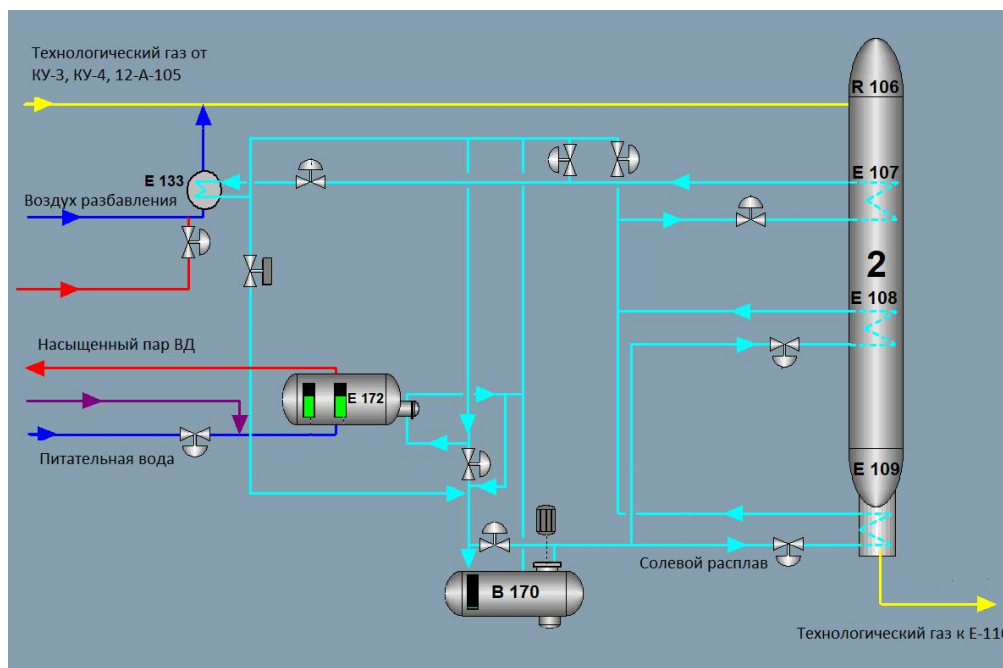


Рис. 1. Принципиальная схема реактора и солевой системы

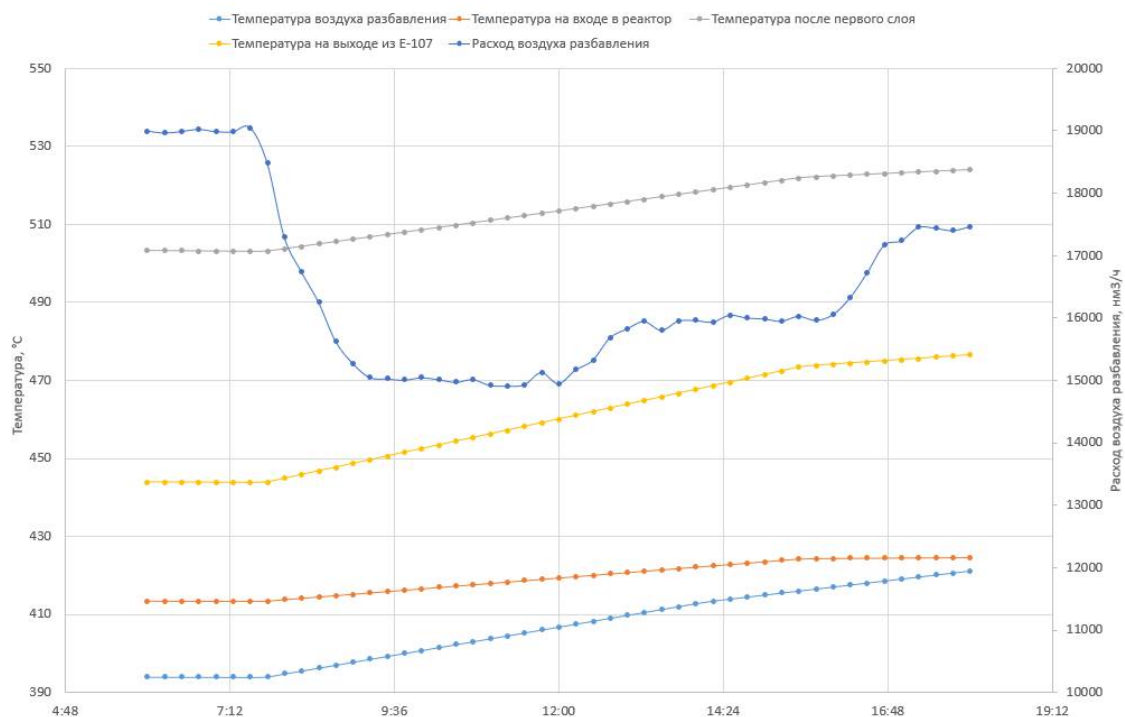


Рис. 2. Зависимость температуры воздуха разбавления, на входе в реактор, после 1-го слоя, после E-107 от расхода воздуха разбавления

Важно заметить, что увеличился перепад температур между входом в реактор и после первого слоя, что позволяет сделать вывод о повышении конверсии на первом слое.

Однако простое снижение расхода воздуха разбавления влечет за собой увеличение концентрации SO_2 и увеличение температуры точки росы.

Для исключения конденсации серной кислоты непосредственно в газоходе, было предложено, не просто уменьшать расход воздуха разбавления на входе в реактор, а вводить

часть этого воздуха непосредственно в реактор, а именно после E-107, как показано на рисунке 3.

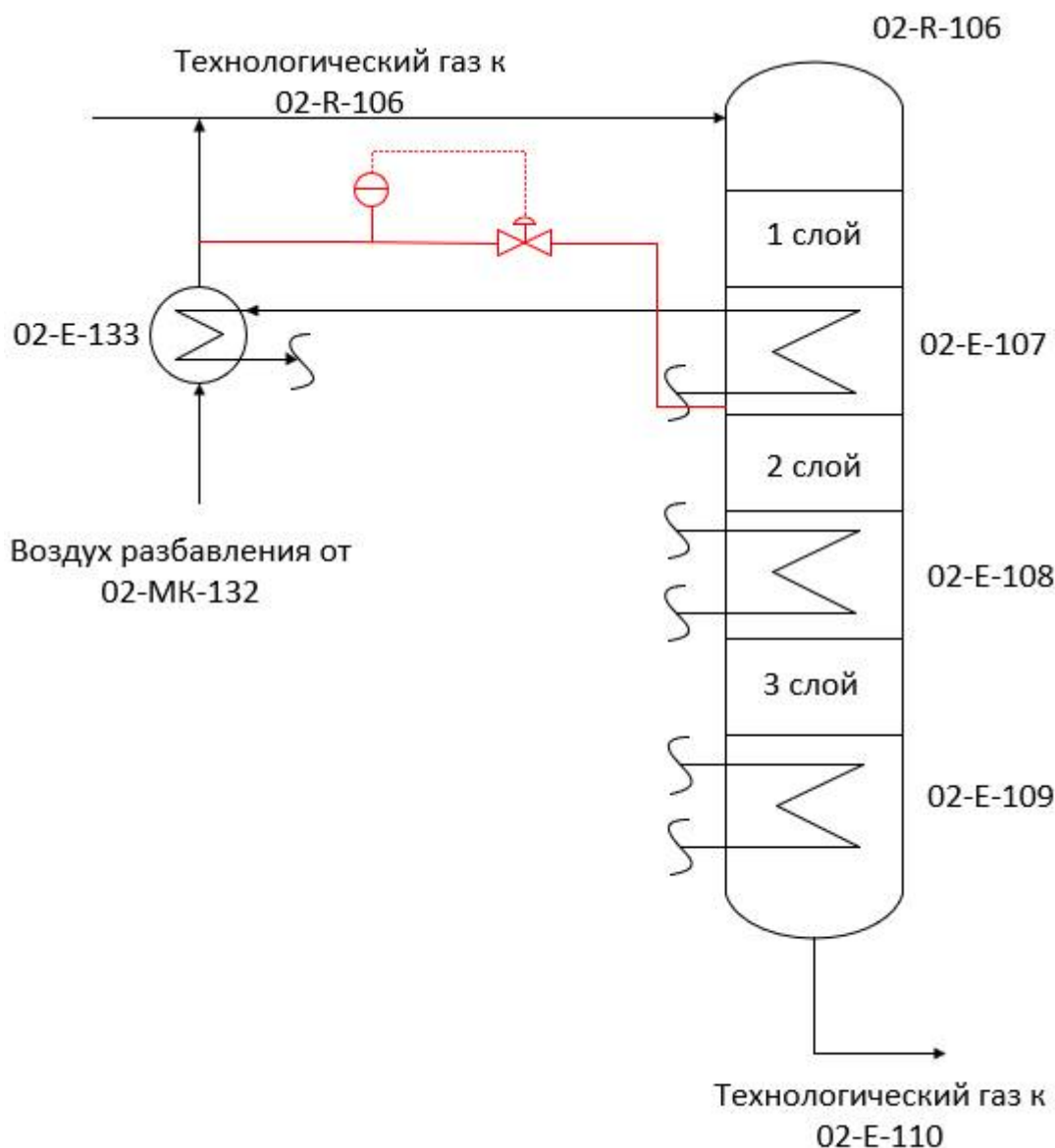


Рис. 3. Подвод воздуха разбавления непосредственно в реактор

Для регулирования и контролирования расхода воздуха разбавления непосредственно в реактор предлагается смонтировать расходомер и регулирующую арматуру.

Реализация данного проекта позволит нормализовать технологический режим реактора и получить более гибкий способ его регулирования.

Также в рамках данного исследования были определены дополнительные выгоды от реализации проекта.

- 1) Потенциальное снижение расхода топливного газа.

При смешении технологического газа с воздухом разбавления перед входом в реактор будет происходить меньшее охлаждение, то потенциально возможно снизить температуру технологического газа после котла-утилизатора, которая регулируется топливным газом.

- 2) Увеличение концентрации серной кислоты.

Потенциальное снижение расхода топливного газа приведет к снижению количества паров воды, которые образуются при его сжигании, что повлечет за собой небольшое увеличение концентрации серной кислоты.

3) Потенциальное увеличение загрузки по сероводороду.

Снижение объема технологического газа, проходящего через первый слой, обуславливает возможность увеличения загрузки блока по сероводороду. Технологическому персоналу установки в данном случае необходимо будет следить не только за работой реактора, но и за работой последующего оборудования.

1. Технологический регламент АО «РНПК» «Установка производства и восстановления серной кислоты цеха №2 по вторичным процессам» версия 3.00;

УДК 547.024; ГРНТИ 31.21.17

АНАЛИЗ ПРОЦЕССА ХЛОРИРОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТИ ПОРИСТОГО КРЕМНИЯ МЕТОДОМ ИК-СПЕКТРОСКОПИИ

С.А. Малахова

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

Аннотация. В работе проводится исследование возможности использования метода ИК-спектроскопии для контроля процесса хлорирования поверхности пористого кремния. С целью исключения недостоверной информации, дополнительно проводится анализ методом рентгено-спектрального анализа.

Ключевые слова: пористый кремний, реакция хлорирования, ИК-спектроскопия, рентгено-спектральный анализ, химическое травление.

ANALYSIS OF POROUS SILICON CHLORINATION PROCESS BY IR-SPECTROSCOPY

S.A. Malakhova

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

The summary. The paper studies the possibility of using the IR spectroscopy method to control the process of chlorination of the surface of porous silicon. In order to exclude unreliable information, an additional analysis is carried out by X-ray spectral analysis

Keywords: porous silicon, chlorination reaction, IR-spectroscopy, X-ray spectral analysis, chemical etch.

Пористый кремний в результате химического или электрохимического травления характеризуется развитой поверхностью с высоким значением удельной площади поверхности. Это свойство позволяет использовать материал для изготовления сорбентов и датчиков. По сравнению с традиционными сорбционными материалами, пористый кремний является полупроводником. Это означает, что его электрические характеристики, например поверхностное сопротивление, могут меняться в процессе сорбции, что позволяет в результате градуировки контролировать процесс сорбции. Это конкурентное преимущество материала. Пористый кремний обычно получают путем химического или электрохимического травления кристаллического кремния, в результате чего образуются поры. В результате травления на поверхности образуются связи Si-H. При этом в результате химической модификации поверхности водород в этой связи может быть замещен на различные функциональные группы или фрагменты отдельных молекул. Такие операции могут найти применение при изготовлении селективных адсорбентов или селективных химических датчиков.

Модификация поверхности может проходить различными путями. Традиционно контроль каждого этапа проводят такими методами как рентгеноспектральный, рентгенодифракционный анализы и некоторые другие. В данной работе рассматривается метод ИК-спектроскопии для анализа проведения реакции хлорирования по поверхности пористого кремния. Хлорирование выбрано, т.к. данная реакция часто является промежуточной при модификации поверхности. Например, хлорированную поверхность можно алкилировать при помощи реактива Гриньяра.

ИК-спектроскопия отличается невысокой чувствительное по концентрации, поэтому возможность и достоверность получения информации по замещению атомов водорода хлором непредсказуемы. В работе проверяется возможность анализа хлорзамещенной поверхности кремния методом ИК-спектроскопии.

Пробоподготовка

Образцы пористого кремния были получены путем химического травления пластины монокристаллического кремния в смеси фтороводородной и азотной кислот [2]. Травление проводилось в течение 5 минут. Далее пластины тщательно промывались ацетоном и подвергались галогенированию газообразным хлором в течение 30 минут при температуре $\sim 100^\circ\text{C}$. В результате должно произойти замещение атомов H на атом Cl, что наглядно продемонстрировано на рис.1. Температура была выбрана исходя из радикально-цепного механизма реакции с целью ее инициирования (рис.2).

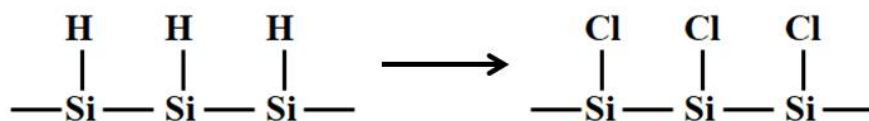


Рис. 1. Процесс образования связи Si-Cl

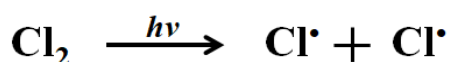


Рис. 2. Радикально-цепного механизма реакции хлорирования

Прибор и методика анализа

В работе использовался ИК Фурье-спектрометр модели ФСМ 2202. Измерение проводилось в режиме «Пропускание» в диапазоне $500\text{--}4000\text{ см}^{-1}$ [2] с получением 20 сканов. На рис. 3 представлен спектр хлорированного образца, снятый относительно пленки пористого кремния. Полученный спектр соответственно содержит только пики, которые отличают образец сравнения и образец исследования. Полученный пик в области 670 см^{-1} согласно литературным данным [1] указывает на образовавшуюся связь Si-Cl. Интенсивность пика небольшая, но отличима от фонового сигнала, что свидетельствует о возможности использования данного метода для контроля процедуры хлорирования.

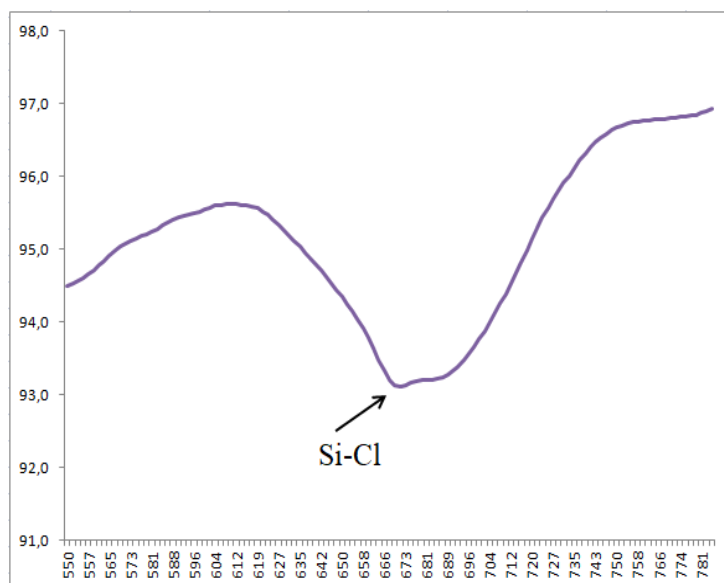


Рис.3. ИК-спектр хлорированного образца пористого кремния
Результаты независимого метода

Для подтверждения полученных результатов было решено воспользоваться независимым методом рентгеноспектрального анализа. Данный анализатор входит в состав растрового электронного микроскопа (РЭМ). На рис. 4 представлен снимок, полученный РЭМ. Левая «пятнистая» часть соответствует пленке пористого кремния, а правая – кристаллическому кремнию. Заметны также следы травления или недостаточно тщательного мытья образца.

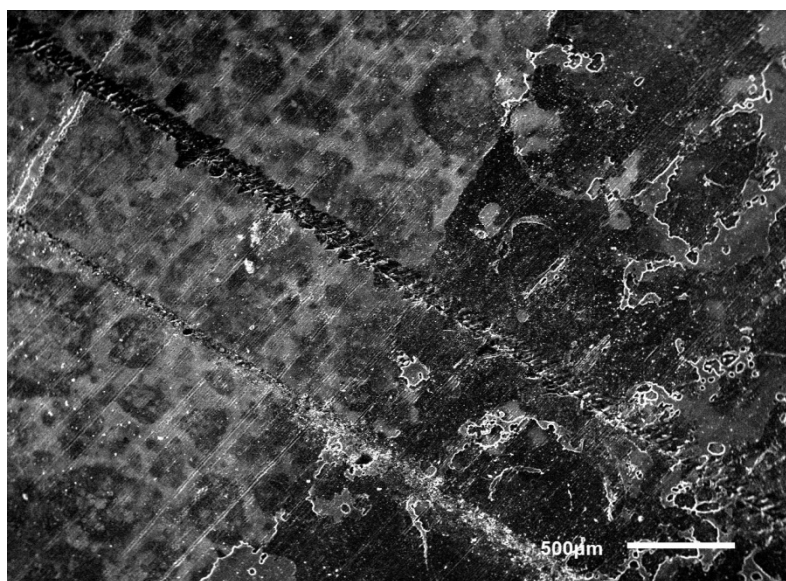


Рис. 4. Снимок поверхности образца с помощью РЭМ

Был проанализирован участок, сочетающий обе зоны (рис. 5). В результате получено распределение количества атомов Cl в относительных единицах вдоль поверхности. Становится ясно, что количество атомов Cl в пленке пористого кремния в целом выше, чем на кристаллическом кремнии. Это явно свидетельствует о протекании реакции хлорирования. Наличие хлора в слое кристаллического кремния связано с недостаточно точно подобранным температурным режимом и длительностью проведения операции, что повлияло на замещение атомов кислорода на поверхности кристаллического кремния. Полученные данные подтверждают результаты, полученные методом ИК-спектроскопии.

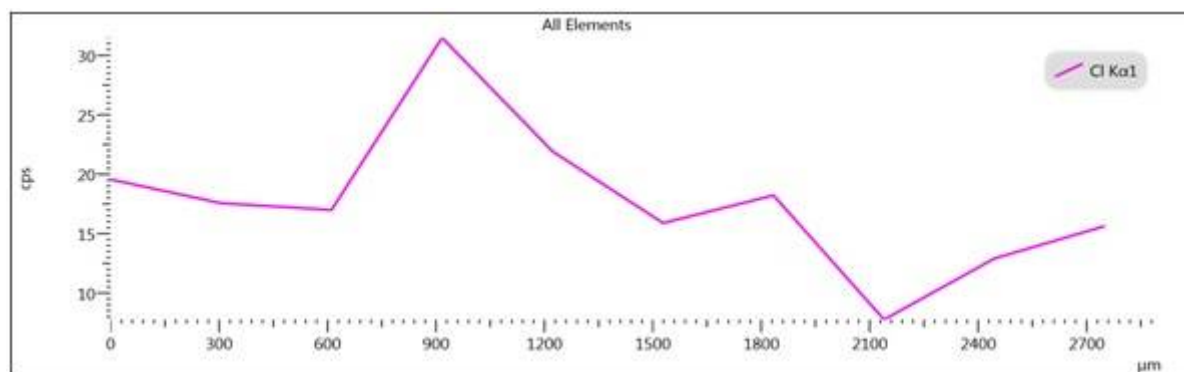


Рис. 5. Распределение атомов Cl вдоль поверхности образца

Выводы

Метод ИК-спектроскопии может быть использован для контроля химической реакции хлорирования поверхности пористого кремния, с целью, например, ее дальнейшей модификации.

Библиографический список

1. Philip J. Launer, Barry Arkles. «Infrared analysis of organosilicon compounds: spectra-structure correlations» Sil- icon Compounds: Silanes & Silicones, 2013 Gelest, Inc Morrisville, PA.
2. J. Phys. «Investigation of the Reactions during Alkylation of Chlorine-Terminated Silicon Surfaces», Chem. C 2007, 111, 13053–13061.

УДК 66.094.3-926-217

РЕКОНСТРУКЦИЯ СХЕМЫ ПРОИЗВОДСТВА БИТУМОВ

Е.В. Воробьева, М.В. Воронов*, Д.С. Трунькин***

**Рязанский государственный радиотехнический университет им. В.Ф. Уткина, Российская Федерация, Рязань, maks.otlichnik98@yandex.ru*

***Рязанский институт (филиал) Московского политехнического университета, Российская Федерация, Рязань, vorobeva-70@bk.ru*

Аннотация. В данной работе рассматривается потенциально прибыльная возможность модернизации схемы получения битумов на нефтеперерабатывающем предприятии, основанная на результатах лабораторных исследований авторов и на анализе аппаратного оформления действующего объекта.

Ключевые слова: гудрон, кровельный битум, первичная переработка нефти, окислительная колонна, лабораторные испытания

RECONSTRUCTION OF BITUMEN PRODUCTION SCHEME

E.V. Vorobeva, M.V. Voronov*, D.S. Trunkin***

**Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin, Russia, Ryazan, maks.otlichnik98@yandex.ru*

***Ryazan Institute (branch) of Moscow Polytechnic University, Russia, Ryazan, vorobeva-70@bk.ru*

Annotation. In this paper, a potentially profitable opportunity to modernize the bitumen production scheme at an oil refinery is considered, based on the results of the authors' laboratory studies and on the analysis of the hardware design of the existing facility

Keywords: goudron, roofing bitumen, primary oil refining, oxidizing column, laboratory tests

Нефтяной битум представляет собой тяжелый остаточный высоковязкий продукт переработки нефти, сырьем для производства которого являются гудроны первичной переработки нефти, тяжелые вакуумные газойли, масляные фракции и некоторые остаточные продукты, вовлекаемые в том числе в качестве разбавителей.

Битумное производство в России за последние годы заменяется на более предпочтительное с позиции увеличения глубины нефтепереработки производство кокса для нефтехимии. В качестве примера можно привести подобное реформирование производства на нефтеперерабатывающих заводах Компании Лукойл, которая к 2016 году полностью перевела свои мощности на получение кокса из нефтяного сырья. Однако такой подход несет в себе недостаток сокращения выпуска важных для существования человека марок битума и продуктов их дальнейшего применения.

Стоит сказать, что несмотря на сокращение объемов выпускаемого битума, производство данного продукта требует некоторого изменения в рамках действующего предприятия, что является актуальностью настоящей статьи.

Битум по своим паспортным характеристикам может быть отнесен к одному из трех видов – дорожному, кровельному или строительному, каждый из которых требует соблюдения своих норм по качеству [1]. В таблице 1 приводится сравнительная характеристика обозначенных ранее марок битумов с позиции их эксплуатационных параметров.

Таблица 1. Сравнительная характеристика параметров качества различных марок битумов

Показатель	Нормы по качеству		
	БНД по ГОСТ 33133-2014	БНК по ГОСТ 9548-74	БН по ГОСТ 6617-76
Глубина проникания иглы при 25 °С, 0,1 мм	71-100	160-210	5-20
Температура размягчения по кольцу и шару, °С	не ниже 47	37-44	90-105
Температура вспышки, °С	не ниже 230	не ниже 240	не ниже 240

Целью данной статьи является обоснованное предложение модернизации существующей схемы производства битумов и при этом сохранение соответствия параметров получаемых продуктов нормам паспортных значений.

В настоящее время схема производства битумов на нефтеперерабатывающем предприятии предполагает переработку смесового сырья, представляющего собой гудроны установок первичной переработки нефти, с добавлением к нему разбавителя [2]. Схема производства битумов представлена на рисунке 1.

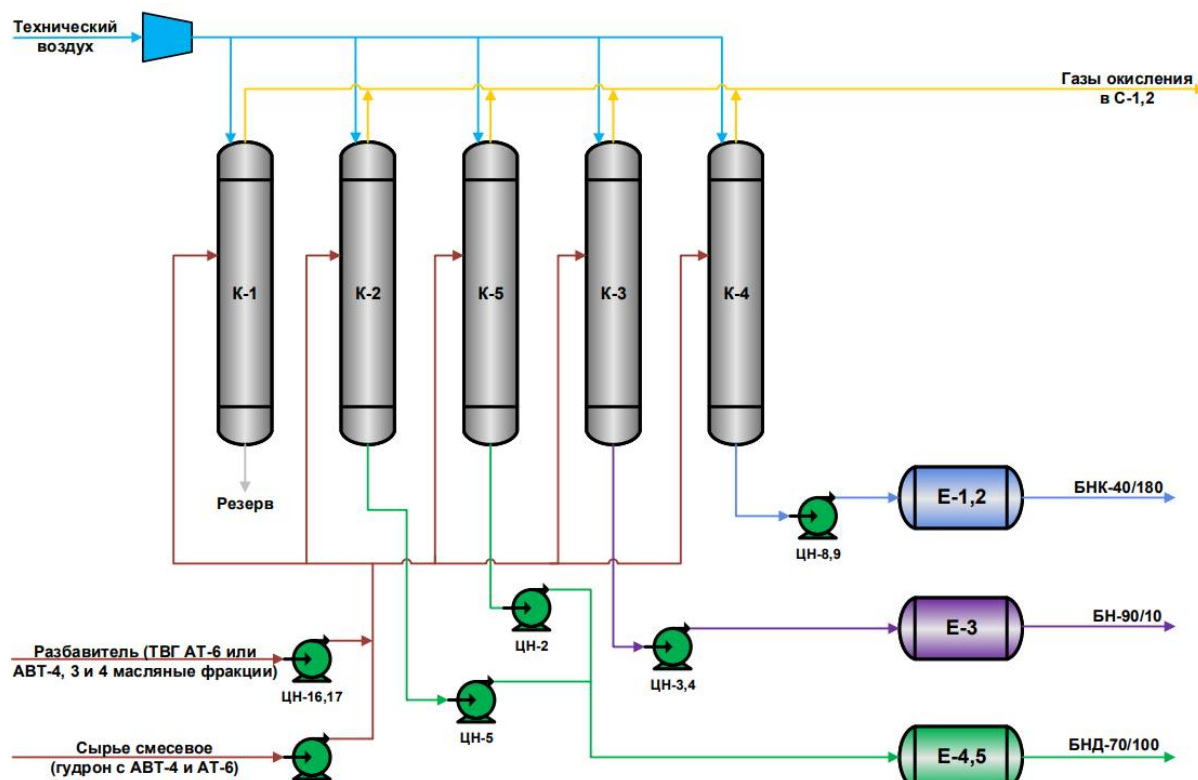


Рис. 1. Схема производства битумов

Получение битумов на установке производства битумов осуществляется путем окисления сырья кислородом воздуха. На данный момент она производит кровельный битум БНК 40/180 по ГОСТ 9548-74, строительный битум БН 90/10 по ГОСТ 6617-76 и две марки дорожных битумов БНД 60/90 по ГОСТ 22245-90 и БНД 70/100 по ГОСТ 33133-2014 [3].

В качестве сырья установки производства битумов могут выступать гудроны установок ЭЛОУ-АВТ-4 и вакуумного блока ВТ-4 установки ЭЛОУ-АТ-6. В настоящее время, для производства битумов используется гудрон с установки АВТ-4. Гудрон с вакуумного блока ВТ-4 установки АТ-6 паспортизируется в соответствии с СТО 44905015-003-2019 и отгружается потребителю.

В ходе данной работы были проведены лабораторные испытания гудронов, исходя из которых был сделан вывод о том, что гудрон АТ-6 по своим основным характеристикам соответствует кровельному битуму БНК 40/180 по ГОСТ 9548-74. Однако испытания показали периодические отклонения ключевых показателей от паспортных норм.

В связи с этим требуется корректировка паспортных показателей за счёт добавления разбавителя. Для проверки возможности получения кровельного битума марки БНК 40/180 по ГОСТ 9548-74 были разработаны рецептуры смешения и проведены конкретные лабораторные испытания с использованием в качестве разбавителя гудрон АВТ-4.

Результаты лабораторных испытаний представлены в таблице 2.

Таблица 2. Результаты лабораторных испытаний проверки рецептуры гудронов АВТ-4 и АТ-6

Наименование показателя	Норма по ГОСТ 9548-74	Фактическое значение (среднее)					
		Гудрон АВТ-4	Гудрон АТ-6	Соотношение гудрон АТ-6 : гудрон АВТ-4, % масс.			
				40:60	50:50	60:40	70:30
Глубина проникания иглы при 25°C, 0,1 мм	160-210	248	157	215	200	193	180
Температура размягчения по кольцу и шару, °C	37-44	35	39	36	37	37	38

После проверки рецептур по ключевым показателям оптимальным способом получения кровельного битума марки БНК 40/180 по ГОСТ 9548-74 является добавление в гудрон АТ-6 в качестве сырья гудрона АВТ-4 в количестве не более 50 % масс.

Исходя из полученных результатов была проведена работа для подтверждения соответствия полному перечню паспортных показателей (таблица 3).

Таблица 3. Проверка соответствия показателей битума паспортным нормам

№№ п/п	Наименование показателя	Метод испытания	Норма по ГОСТ 6617-76	Фактическое значение (среднее)
1	Глубина проникания иглы при 25°C, 0,1 мм	ГОСТ 11501	160-210	187
2	Температура размягчения по кольцу и шару, °C	ГОСТ 11506	37-44	37
3	Растворимость в толуоле или хлороформе, %	ГОСТ 20739	не менее 99,50	99,90
4	Изменение массы после прогрева, %	ГОСТ 18180	не более 0,80	0,08
5	Глубина проникания иглы при 25°C в остатке после прогрева, % от первоначальной величины	ГОСТ 11501	не менее 60	73
6	Температура вспышки, °C	ГОСТ 4333	не ниже 240	310
7	Массовая доля воды, %	ГОСТ 2477	Следы	Следы

Данный способ получения кровельного битума дает возможность при производстве дорожных битумов применять гудрон более низкой вязкости (только гудрон АВТ-4), не вовлекая в сырье битумной установки гудрон АТ-6, тем самым сокращая процент вовлечения разбавителя.

Исходя из проведенных анализов можно сделать вывод о возможности получения кровельного битума, при этом не вводя сырье на установку производства битумов. Так как производительность гудрона АТ-6 может покрыть необходимые объёмы производства кровельного битума необходимость использования колонны К-4 для производства БНК 40/180 отпадает, и отгрузка кровельного битума может производиться напрямую после выхода гудрона с установки АТ-6.

Под паспортизацию и отгрузку кровельного битума может быть использована емкость Е-17, которая на данный момент применяется под тяжелый газойль каталитического крекинга.

При данном предложении колонна К-4 становится вакантной, и в этом случае могут быть предприняты следующие действия:

1. К-4 не возобновляет свою работу в дальнейшем, и вся экономия сосредоточена в основном на экономии электроэнергии от её остановки.

2. К-4 может быть переведена под производство дорожного битума и работу на неполной загрузке.

При осуществлении первого варианта возникают следующие плюсы:

- экономия электроэнергии за счет остановки насоса, подающего гудрон в окислительную колонну К-4, и насоса, который выводит конечный продукт – битум – из К-4;
- нивелирование уноса части гудрона с газами окисления, их осаждения на стенках трубопровода, сужения проходного сечения и, вследствие этого, отсутствием необходимости в скором ремонте данного участка установки.

Среди недостатков данного варианта можно отметить:

- простой окислительной колонны;
- сохраняющаяся потребность в разгрузке окислительных колонн К-2, К-3 и К-5, работающих сверх своей проектной мощности.

При осуществлении второго варианта достоинствами являются:

- распределение избыточных объемов дорожных битумов равномерно по трем колоннам, что позволит разгрузить колонны и предотвратить возникновение потенциально опасной угрозы аварии;
- возможно дополнительно получать дополнительные объемы производства дорожного битума.

Недостатки данного варианта следующие:

- потребуется расширение объёмов технологического оборудования, предназначенного для вывода дополнительной массы битума с предприятия, для чего следует оборудовать дополнительные наливные эстакады с пуском железной дороги и увеличить количество стояков автоналива.

В летнее время (июль, август) возможны отклонения ключевых показателей (температура размягчения по кольцу и шару (КИШ), глубина проникновения иглы, вязкость условная) от паспортных норм, поэтому здесь могут быть следующие предложения:

- вернуть колонну К-4 под производство кровельного битума;
- производить компаундирование кровельного битума: к битуму с недостаточным КИШ добавлять гудрон АВТ-4 непосредственно перед загрузкой в емкость Е-17, затем ее паспортизировать.

Итоговая принципиальная схема производства битумов с окончательными предложениями по модернизации изображена на рисунке 2.

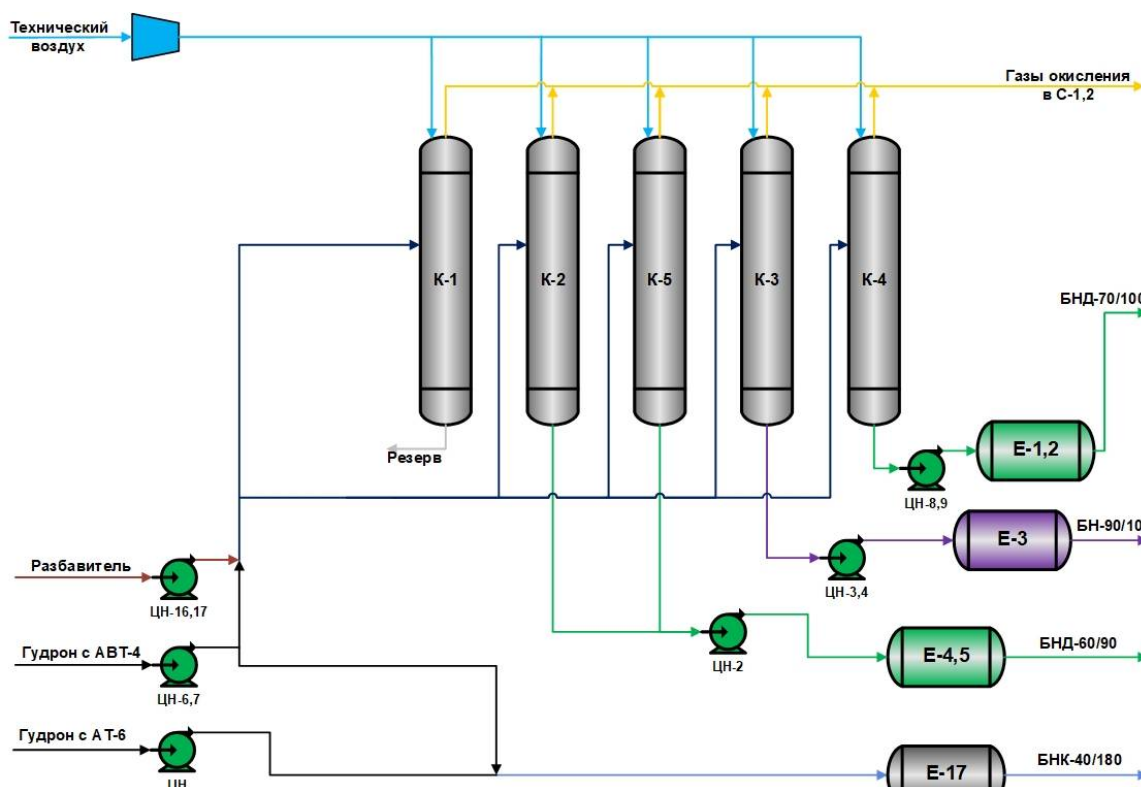


Рис. 2. Модернизированная схема производства битумов

Исходя из всего вышесказанного следует отметить, что цель данной статьи была выполнена, причем для этого была проведена работа по исследованию гудронов и различных марок битумов в лабораторных условиях с применением оборудования для проверки качества темных нефтепродуктов. Ключевые показатели были проанализированы и на их основе предложено оптимальное соотношение гудронов двух установок для получения кровельного битума в обход действующей установки.

Кроме того, была проделана работа по изучению и разбору нормативных документов на битумы трех основных марок – кровельного, дорожного и строительного, что послужило основой для подтверждения основной идеи данной работы.

Помимо этого, был проведен разбор существующей схемы производства битумов, была заложена актуальность проводимых исследований и была предложена модернизация существующей схемы производства битумов и при этом сохранено соответствие параметров получаемых продуктов нормам паспортных значений.

Библиографический список

1. Ахметов С.А. Технология глубокой переработки нефти и газа – 2001 г. – 586 с.
2. Кемалов, А. Ф. Производство окисленных битумов : учеб. пособие / Р. А. Кемалов, Т. Ф. Ганиева, А. Ф. Кемалов. — Казань : КГТУ, 2009г. – 96 с.
3. Ширкунов А.С. Получение нефтяных и полимермодифицированных дорожных битумов – 2011 г. – 189 с.

УДК 628.33; ГРНТИ 70.25.17

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА НЕЙТРАЛИЗАЦИИ СТОКОВ ГАЛЬВАНИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА

И.В. Хохлов¹, Е.В. Воробьева²

1- Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,

Российская Федерация, Рязань, mehawolf@gmail.com ,

2 – Рязанский институт (филиал) Московского политехнического университета,

Российская Федерация, Рязань, vorobeva-70@bk.ru

Аннотация. Рассмотрен реагентный метод нейтрализации сточных вод гальванического производства.

Ключевые слова: гальваническое производство, сточные воды, травильные растворы.

INVESTIGATION OF THE PROCESS OF NEUTRALIZATION OF WASTE IN ELECTRIC PRODUCTION

I.V. Khokhlov¹, E.V. Vorobieva²

1- Ryazan State Radiotechnical University named after V.F. Utkin,

2 - Ryazan Institute (branch) of the Moscow Polytechnic University,

Russian Federation, Ryazan, vorobeva-70@bk.ru

Annotation. The reagent method of neutralization of wastewater from galvanic production is considered.

Key words: galvanic production, wastewater, pickling solutions.

Машиностроение и приборостроение являются одними из ведущих отраслей промышленности России. В ходе производства образуется большое количество сточных вод, загрязненных соединениями металлов, отработанными растворами гальванических производств. Подобные стоки необходимо подвергать очистке, чтобы избежать загрязнения природных водоемов ионами тяжелых металлов. С этой целью используют схемы реагентной нейтрализации стоков, позволяющие снизить класс опасности загрязнений.

Сточные воды гальванического производства по своему составу делятся на следующие группы:

- кислотно-щелочные;
- цианосодержащие;
- хромосодержащие;
- фторсодержащие.

Их характеристики представлены в таблице 1.

Таблица 1. Характеристика сточных вод гальванического производства

Группа сточных вод	Основные технологические процессы образования сточных вод	Состав загрязнений	pH среды
Кислотные	Предварительное травление, кислое меднение, никелирование, цинкование	H_2SO_4 , HCl , HNO_3 , H_3PO_4 и др.	< 6,5
Щелочные	Обезжиривание	$NaOH$, KOH , $Ca(OH)_2$ и др.	> 8,5
Содержащие соли тяжелых металлов	Поверхностная металлообработка и нанесение гальванопокрытий	Fe^{2+} , Fe^{3+} , Zn^{2+} , Al^{3+} , Cu^{2+} и др.	< 6,5
Циансодержащие	Цианистое меднение, цинкование, кадмирование, серебрение	KCN , $NaCN$, $CuCN$, $Fe(CN)_2$, $[Cu(CN)_2]^-$, $[Cu(CN)_4]_3^-$, $[Zn(CN)_4]^{2-}$ и др.	2,8-11,5
Хромосодержащие	Хромирование, пассивация, травление деталей из стали и др.	Cr^{3+} , Cr^{6+} , Zn^{2+} , Cu^{2+} , Fe^{2+} , Fe^{3+} и др.	2,3-8,8

Суть метода заключается в обработке стоков химическими реагентами, связывании ионов тяжелых металлов и переводе их в нерастворимое (малорастворимое) состояние. Для связывания могут использоваться гидроксиды, карбонаты, иногда - фосфаты и сульфаты. Для глубокой доочистки применяются сульфиды.

В реагентном методе не всегда сразу происходит осаждение тяжелого металла. Иногда перед этим требуется перевести его в нужную степень окисления. Хром (VI) восстанавливают сульфатом железа, сульфитами, бисульфитами, стальной стружкой.

В целом данный метод относительно прост и позволяет перерабатывать огромные объемы сточных вод в сутки. Но из-за вышеприведенных трудностей они далеко не всегда позволяют вывести значения концентраций тяжелых металлов в стоках до норм ПДК. Хотя иногда образующиеся гидроксиды (особенно железа) оказываются способными сорбировать на себя остатки загрязнений и результат становится весьма удовлетворительным.

Углубленное изучение данного метода позволило выделить как его достоинства, так и недостатки, которые приведены в таблице 2.

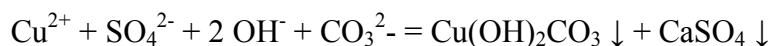
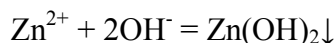
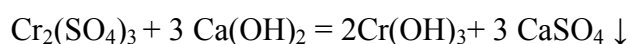
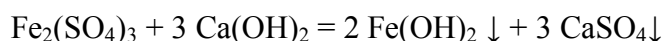
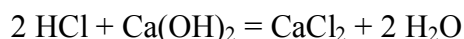
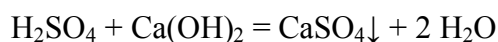
Таблица 2. Характеристика реагентного метода

Достоинства	Недостатки
Широкий интервал начальных концентраций	Не обеспечивается ПДК для рыбохозяйственных водоемов
Универсальность	Громоздкость оборудования
Простота эксплуатации	Значительный расход реагентов
Отсутствует необходимость в разделении промывных вод и концентратов	Дополнительное загрязнение сточных вод
	Невозможность возврата в оборотный цикл очищенной воды из-за повышенного солевого содержания
	Затрудненность извлечения из шлама тяжелых металлов для утилизации

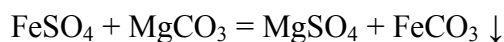
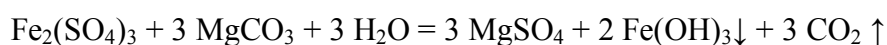
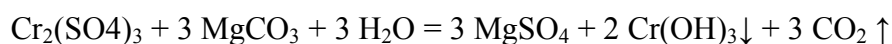
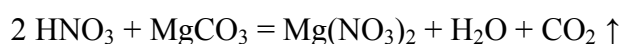
Для решения данной проблемы возможна замена реагента $\text{Ca}(\text{OH})_2$ на MgCO_3 . В результате изменения процессов нейтрализации и ионного обмена большая часть образующихся веществ переходят в водорастворимую форму – сульфат магния, который возможно вторично использовать.

Предполагаемые химические процессы, протекающие при нейтрализации травильных растворов гальванических производств с использованием нового нейтрализующего вещества, представлены ниже.

Химические реакции с гидроксидом кальция:



Химические реакции с карбонатом магния:



Анализ представленных процессов свидетельствует, что помимо выше рассмотренных продуктов имеет место образование фторидов магния, являющихся нерастворимыми инертными веществами, которые могут быть использованы в качестве наполнителей для строительных материалов.

Таким образом, в ходе изучения применяемого метода очистки сточных вод гальванического производства, нам удалось выявить его недостатки и предложить способ, позволяющий снизить содержание ионов тяжелых металлов, следовательно, класса опасности травильного раствора. Предлагается заменить $\text{Ca}(\text{OH})_2$ на MgCO_3 , что также позволит получать растворимый MgSO_4 , который можно в дальнейшем использовать в качестве удобрения и компонента при производстве строительных материалов. Благодаря выше сказанному, снизится антропогенная нагрузка на природную среду, что весьма актуально в настоящее время.

1. Добровольский, И.П. Перспективные направления переработки солянокислых отработанных травильных растворов с получением бишофита, пигментов и коагулянтов/ И.П. Добровольский, А.Б. Селихов// Вестник Челябинского государственного университета. -2008. - №17. – С. 28-31.

УДК 621.357; ГРНТИ 87.53.13

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ГАЛЬВАНИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА

М.С. Лобанова, Л.И. Лобанова

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

Аннотация. В работе рассматриваются опасные факторы гальванического производства, на основе этого проводится исследование способов утилизации осадков сточных вод гальванических производств, возможность их применения при производстве строительных материалов.

Ключевые слова: экологическая безопасность, гальванический шлам, осадки сточных вод.

ENVIRONMENTAL SAFETY IN ELECTRIC PRODUCTION

M.S. Lobanova, L.I. Lobanova

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

Annotation. The paper discusses the hazardous factors of galvanic production, on the basis of this, a study is made of methods for utilizing sewage sludge from galvanic production, the possibility of their use in the production of building materials.

Keywords: porous silicon, chemical etching, selective etching.

Гальваническое производство является одним из наиболее опасных источников загрязнения окружающей среды. На каждом гальваническом производстве образуются опасные отходы, которые могут находиться в различных агрегатных состояниях, в качестве выбросов токсичных паров и аэрозолей, а так же в виде сбросов, содержащих вредные для окружающей среды и человека вещества.

Особенно опасными факторами электрохимического производства, воздействующими на здоровье людей и природную среду, являются:

1 Пары нагретых растворов электролитов - это кислоты, щёлочи, и соль (хлорид аммония).

2 Утечка и разбрызгивание электролита с концентрацией вещества до 350 г/л.

3 Смыв с мест временного хранения отходов, который содержит в себе соли тяжёлых металлов и концентрированные электролиты [1].

Исходя из технологических процессов разных гальванических производств (линия цинкования, никелирования, хромирования, анодирования и др.), основными наиболее опасными компонентами гальванических отходов являются хром, ртуть, цинк, никель, олово, висмут, свинец, кадмий, железо, медь и др. Их концентрация в отходах гальванических производств достигает: цинк – до 5740 мг/кг, никель – до 200 мг/кг, хром – до 5000 мг/кг, свинец – до 600 мг/кг, медь – до 5600 мг/кг, кобальт – до 30 мг/кг, кадмий – до 54 мг/кг, сурьма – до 200 мг/кг. Эти компоненты в основном находятся в соединениях в связанном состоянии [2].

С целью предупреждения вероятного поступления отходов гальванических производств на территорию предприятий необходимо регулярно соблюдать санитарно-гигиенические требования по их хранению, перевозке, обработке, а также утилизации.

Самыми токсичными техногенными материалами гальванического производства являются осадки, возникающие в процессах очистки сточных вод.

Цель работы – рассмотреть возможные направления утилизации осадков сточных вод и дальнейшую возможность применения их в производстве.

В настоящее время существует проблема захоронения и утилизации образующихся осадков, поскольку в последние годы увеличиваются их объёмы, и усиливается спрос по экологической безопасности и охране окружающей среды и захоронение осадков становится более проблематичным. Вследствие этого, разрабатываются новые технологии по их

утилизации.

Исследование технологий и методов утилизации осадков сточных вод гальванического производства является одной из самых перспективных и актуальных задач. Ежегодно в окружающую среду попадает до 1 км^3 токсичных гальванических стоков, которые содержат около 50 тыс. т. тяжелых металлов, 100 тыс. т. щелочей и кислот. В водные бассейны попадает 25-30% этих стоков. Средний объем стоков, образующихся на одном электрохимическом производстве, составляет $600-800 \text{ м}^3/\text{сут}$, причем основная масса используемых реагентов поступает при промывке деталей со сточными водами в канализацию.

На гальваническом производстве образуется три типа сточных вод их условно можно разделить на следующие три группы:

1 Хромосодержащие сточные воды. Такие воды образуются при промывке деталей после хромирования и пассивирования деталей в электролитах, содержащих бихроматы калия или натрия.

2 Цианистые сточные воды. Они образуются при промывке деталей после нанесения покрытий из электролитов содержащих цианиды калия или натрия.

3 Кислото-щелочные сточные воды. Они образуются при промывке деталей после травления, обезжиривания, нанесения покрытий в кислых и щелочных растворах электролитов. Данные стоки содержат ионы тяжелых металлов - медь, цинк, никель, железо [3].

Из всех существующих в настоящее время методов очистки гальванических стоков к образованию гальванических шламов приводят только методы: реагентный, электрокоагуляционный, гальванокоагуляционный, электрофлотационный и метод прямого электролиза.

На большинстве предприятий основным методом очистки сточных вод является реагентный метод. В его основе лежат химические реакции, которые переводят вредные загрязнители в воде из раствора в осадок (гидроксиды или основные карбонаты) при помощи негашёной извести, кальцинированной соды, мела, доломита и т.п., с последующим извлечением его из стока. Осадки сточных вод после реагентного метода очистки обычно содержат 95% воды, поэтому их предварительно обрабатывают: уплотняют, обезвоживают, сушат, и отправляют на утилизацию.

В настоящее время возможны следующие направления утилизации осадков сточных вод:

1 Захоронение или долговременное складирование, что в основном применяется на всех предприятиях.

2 Применение в качестве сырья для производства строительных материалов. Такие способы представляют собой использование осадков в качестве активных минеральных и пластифицирующих добавок к цементам и бетонам, при производстве керамзитового гравия и кирпичей; в качестве активирующей добавки для минерального наполнителя при производстве асфальтовых покрытий; в производстве стеклокерамических композиционных материалов, гипса, облицовочных и декоративных материалов.

3 Способы утилизации в разных отраслях промышленности, связанные с регенерацией ценных компонентов из осадков сточных вод.

Технология картового захоронения предполагает складирование отходов сроком на 70–90 лет. Основное требование при создании такого захоронения – ограничение по коэффициенту фильтрации грунта или гидроизоляции. Он должен быть 10^{-7} см/с при толщине слоя гидроизоляции не менее 100 см для исключения загрязнения природной среды. Следует отметить, что картовое захоронение – это вынужденная мера. Захоронение отходов таким образом является невыгодным в экономическом отношении, так как занимают пахотные и другие территории, а также очень дорогостоящие сооружения специальных

полигонов. Технология картового захоронения отходов гальванических производств экологически небезопасно, так как тяжелые цветные металлы могут мигрировать в виде летучих компонентов в воздушную среду или же в форме растворимых соединений переходить в грунтовые воды.

Интересным является направление извлечения ценных компонентов из осадков сточных вод. Для извлечения ценных металлов в основном применяют два основных способа: гидро- и пирометаллургические методы. Пирометаллургические способы включают восстановление безводных соединений металлов при высоких температурах с помощью тех металлов, которые являются более активными, чем получаемые. Среди пирометаллургических технологий можно отметить способ переработки гальванических осадков путем восстановительной плавки с последующей ректификацией и разделением металлов в виде товарных продуктов. Гидрометаллургические методы пригодны для извлечения металлов из сырья с низкими концентрациями металла и не поддающегося переработке традиционными методами, поэтому роль этих методов в условиях происходящего обеднения и ухудшения качества рудного сырья постоянно возрастает. На основе гидрометаллургических методов можно одновременного выделить из сернокислого раствора медь и кадмий, такой метод широко применяется для очистки сульфатных цинковых растворов. Однако высокая энергоемкость и образование большого количества отходов при использовании вышеуказанных методов ставят под сомнение их перспективность. Кроме этого достаточно трудно получить металлы с большой степенью чистоты [6,7].

Более перспективным экономически и экологически выгодным является использование осадков в качестве сырья для производства строительных материалов.

Гальванический шлам можно использовать в керамической промышленности при производстве стеновых и кровельных керамических материалов. Шламы в процессе подготовки к использованию подвергаются термообработке и в качестве отдельного компонента добавляются в глиномассу в количестве 3-5%. После формования изделия и последующего обжига добавка шламов, равномерно распределенная по объему, переходит в связанное состояние, что препятствует её выделению (вымыванию и выветриванию). При этом улучшается механическая прочность и морозоустойчивость керамической продукции на 15-20%, водопоглощение снижается на 2% [5].

Другим способом применения осадков гальванического производства является использование их в качестве минерального наполнителя для изготовления асфальтобетонных смесей. Такие смеси можно использовать при устройстве покрытий дорог, но их не рекомендуют применять при строительстве площадок на территории детских, лечебных и спортивных учреждений.

Однако, из-за возможности выщелачивания тяжелых металлов из бетона, асфальта и даже из керамики под действием факторов окружающей среды, способы утилизации путем совместного отверждения с цементом, глиной и другими вяжущими материалами не всегда пригодны и имеют ограничения по характеристикам эксплуатации полученных изделий, поэтому технология требует более детального исследования.

Технологии утилизации осадков сточных вод в строительстве могут найти стабильное применение только при соблюдении следующих условий:

- 1 Наличие соответствующих промпредприятий в городе или регионе, которые бы стабильно потребляли указанные отходы и содержащую их продукцию.

- 2 Высокая технико-экономическая эффективность производства.

- 3 Постоянство химического состава сырья; это возможно в случае поступления отходов с одного предприятия.

- 4 Экологическая безопасность продукции в процессе эксплуатации при сохранении строительно-технических свойств. Этот критерий является главным при решении вопросов о возможности утилизации гальванических осадков при производстве строительных материалов [4].

Таким образом, минимизация объемов и перечня выбросов загрязняющих веществ может быть обеспечена с внедрением новых методов и технологий. Утилизация и использование осадка в качестве добавки при производстве строительных материалов значительно поможет улучшить экологическую обстановку.

Библиографический список

1. Ермоленко Б.В. Успехи в химии и химической технологии: Сб. науч. тр. [под ред. П.Д. Саркисова и В.Б. Сажина]; - РХТУ им. Д.И. Менделеева М.: Изд-во РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2008. Т. XXII. №13. С. 47-52.
2. Ямпольский А.М. Краткий справочник гальванотехника/ А.М.Ямпольский, В.А Ильин. – Л.: Машиностроение, 1981. – 269 с.
3. Виноградов С.С. Экологически безопасное гальваническое производство / С.С. Виноградов, В.Н. Кудрявцева, - М. : Производственно-издательское предприятие "Глобус", 1998. - 302 с.: 51 ил., 64 табл., 26 библиогр. Назв.
4. Волков Л. С. К оценке возможности использования отходов в производстве строительных материалов (на примере осадков сточных вод гальванических производств) / Л. С. Волков, И. В. Генцлер., В. Л. Волков // Известия Академии промышленной экологии. - 1997. - №3. - С. 38 - 40.
5. Клищенко Р.Е. Использование шламов гальванических производств в керамике / Р.Е. Клищенко, Р.Д Чеботарева, Г.Н Пшинко, Б.Ю. Корнилович // Химия и технология воды. - 2000. - № 6. - С. 26-29.
6. Наумов В. И. Утилизация шлама гальванических производств / В. И. Наумов, Ю. И. Наумов, А. П. Галкин, Т. В. Сазонтьева // Гальванотехника и обработка поверхности. – 2009. – Т. 17, № 3. – С. 41-47.
7. Казанбаев Л. А. Гидрометаллургия цинка / Л. А. Казанбаев - Москва: Издательский дом «Руда и Металлы», 2006. - 176 с.

УДК 665.765; ГРТНИ

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕСУРСА РАБОТЫ МОТОРНЫХ МАСЕЛ МЕТОДОМ ИК-СПЕКТРОСКОПИИ

А.Д.Пономарева*, А.И.Становова**, Ю.В.Игнатенко***, В.С.Логинов****,
М.В.Лызлова*****, Т.П.Шуварикова*****

*Рязанский государственный радиотехнический университет им. В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань, *nspnmrv@bk.ru, **Stanovova_ai@mail.ru,
juliaignatenko1203@mail.ru, *vlad.loginoff@gmail.com,
*****lyzlova.m.v@rsreu.ru, *****t.golub231@gmail.com

Аннотация. Применение метода ИК-спектроскопии с Фурье-преобразованием для мониторинга моторного масла в процессе эксплуатации и хранения. Исследования накопления в масле загрязняющих веществ, деградации базового масла, истощения присадок.

Ключевые слова: ИК-Фурье спектроскопия, моторное масло полусинтетическое 10w40, присадки .

INVESTIGATION OF THE SERVICE LIFE OF MOTOR OILS BY IR SPECTROSCOPY

A.D.Ponomareva*, A.I.Stanovova**, J.V.Ignatenko, V.S. Loginov****,
M.V. Lyzlova*****, T.P.Shuvarikova*****

* Ryazan State Radio Engineering University,
Ryazan, Russia, *nspnmrv@bk.ru, **Stanovova_ai@mail.ru,
juliaignatenko1203@mail.ru, *vlad.loginoff@gmail.com,
*****lyzlova.m.v@rsreu.ru, *****t.golub231@gmail.com

Abstract. The article is devoted to the application of the method IR-spectroscopy for the analysis of various group base oils.

Keywords: IR spectroscopy, group composition, base oils.

Моторные масла — группа смазочных масел, специализированных для двигателей внутреннего сгорания (бензиновых, дизельных, авиационных). Использование качественных смазочных масел позволяет предотвратить коррозию, трение и износ в машинах, обеспечить

нормальную работу двигателя и тем самым увеличить срок его службы. За счет разделения трущихся поверхностей слоем смазочного материала и формированием на поверхности цилиндрико-поршневого механизма двигателей износостойких пленок происходит принудительное охлаждение поршней двигателя, нейтрализация кислот, образующихся при сгорании топлива и окислении масла, уменьшение потерь на трение и износа поверхностей трения, защита двигателя от коррозии. За счет циркуляции смазочного материала предотвращается рост вязкости масла вследствие его загрязнения. [1]

Выбор моторного масла для двигателей внутреннего сгорания и срок его эксплуатации как правило рекомендовано производителями машин в зависимости от условий их работы. В большинстве случаев замену масла проводят примерно через 10000 км пробега автомобиля. Считается, что работоспособность масел, обеспечиваемая их физико-химическими свойствами, при температурах от -30°C (холодный пуск двигателя в зимний период) до 300°C (режим максимальной мощности в летний период) снижается за счет химической деградации основы (базового масла) и присадок. При контроле изменения свойств моторного масла в процессе эксплуатации срок его работы может быть изменен. В настоящее время используются лабораторные аналитические и экспресс методы исследования, такие как ИК-спектроскопия с Фурье преобразованием. [1]

Целью настоящей работы является изучение химического состава моторных масел до и в процессе эксплуатации методом ИК-спектроскопии на ИК-Фурье спектрометре «Инфраспект ФСМ 2202» с регистрацией спектров в диапазоне $4000-600\text{ см}^{-1}$ с разрешением 4 см^{-1} .

Объектом изучения в настоящей работе являлись образцы товарных (свежих) и отработанных моторных масел, изменяющие свои свойства в процессе эксплуатации двигателей внутреннего сгорания в автомобилях различных марок.

Для проведения исследования были выбраны моторные масла с классом вязкости 10W-40 и 5W-30, разработанные для круглогодичного использования (от -30°C до $+40^{\circ}\text{C}$), работающие в бензиновых двигателях. Товарные моторные масла получают путем добавления к базовым маслам пакета присадок. В качестве базовых масел используются масла SN-150 и VHV-4 и присадки Комплексал-7321А, ДФ-11к, Infineum SV260, ПМА «Д».

Моторные масла в количестве 3-4 л было залито в разные марки машин, отличающиеся годом выпуска, двигателем внутреннего сгорания, условиями эксплуатации, но использовались смазочные материалы приблизительно одно и тоже количество времени (пробег 2000-3000 км). Автомобили эксплуатируются более 5 лет, поэтому выбиралось для них специально всесезонное масло, применяемое для машин с большим пробегом.

Характеристика автомобилей и условия их эксплуатации представлены в таблице 1.

Таблица 1-Характеристика автомобилей и условия эксплуатации

Марка автомобиля	LADA Kalina	Opel Mokka
Объем двигателя, л	1,6	1,8
Год выпуска	2015	2013
Тип топлива в двигателе	бензин	бензин
Моторное масло	10W-40	5W-30
Количество масла, л	3,2	4
Условия эксплуатации, %		
в городе	90	60
движение по трассе	10	40
Пробег, км	2200	3120

Для каждого типа автомобиля было выбрано масло в соответствии с классификацией, представленной в руководстве по эксплуатации автомобиля (таблица 2).

Таблица 2-Классификация моторных масел

Минимальная температура холодного пуска двигателя, °C	Класс вязкости по SAE J 300	Максимальная температура окружающей среды, °C
ниже -35	0W-30	25
ниже -35	0W-40	30
-30	5W-30	25
-30	5W-40	35
-25	10W-30	25
-25	10W-40	35
-20	15W-40	45
-15	20W-40	45
-15	2W-50	выше 45

Моторное масло 10W-40 разработано для круглогодичного использования (от -25 до +40 °C) в атмосферных форсированных двигателях, работающих на бензине. Масла данной группы защищают мотор от нагара, не позволяют образовываться вредным веществам, обеспечивают уверенный запуск двигателя даже в очень холодное время года или в жару. Кроме того, добавки позволяют смазке активно очищать мотор от неблагоприятных образований. Даже если шлаки отложились, в дальнейшем, они смываются чистящими присадками и осаждаются в картридже фильтра. Масло 10W-40 подходит как для нового автомобиля, так и для автомобиля с большим пробегом. Моторное масло в количестве 3,2 л было залито в автомобиль (LADA Kalina, 1,6 л, 2015 года выпуска). Условия эксплуатации: в городе (частые поездки) - 90%, движение по трассе (расстояние около 100 км) - 10%. Пробег автомобиля на масле составил 2200 км август - февраль 2021-2022 года.

Моторное масло 5W-30 также разработано для круглогодичного использования (от -30 до +25 °C), предназначен для относительно новых автомобилей с дизельным или бензиновым двигателем, часто эксплуатируемых в городских условиях. Моторное масло в количестве 4 л было залито в автомобиль (Opel Mokka, 1,8 л, 2013 года выпуска). Условия эксплуатации: в городе (частые поездки) - 60%, движение по трассе (расстояние около 150 км) - 40%. Пробег автомобиля составил 3120 км октябрь 2021-февраль 2022 года.

Для измерения ИК- спектров были взяты эталоны товарных масел до эксплуатации и образцы отработанных масел в процессе эксплуатации автомобилей. При помощи программы SPECTRUM были сняты и сохранены ИК-спектры исследуемых образцов, приведенных на рисунках 1-4. Для идентификации и сравнения наиболее характерных групп использовали область спектра 600-4000 см⁻¹. На полученных спектрах были выделены фиксированные точки, входящие в определенные спектральные диапазоны, и по соответствующим полосам поглощения определена их интенсивность.

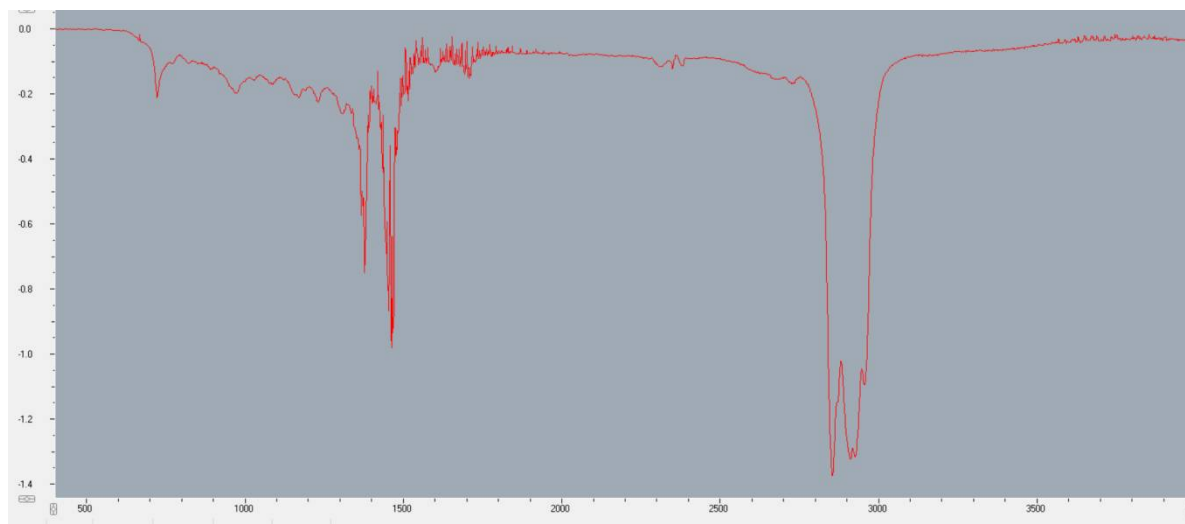


Рис. 1. ИК- спектр свежего масла класса 5w30

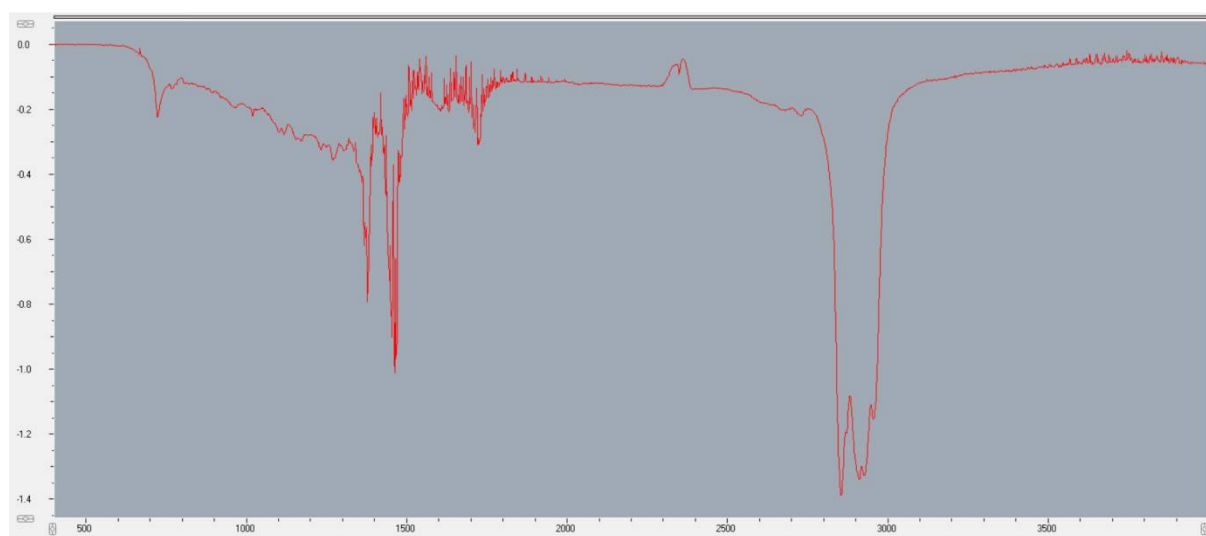


Рис. 2. ИК- спектр отработанного масла класса 5w30

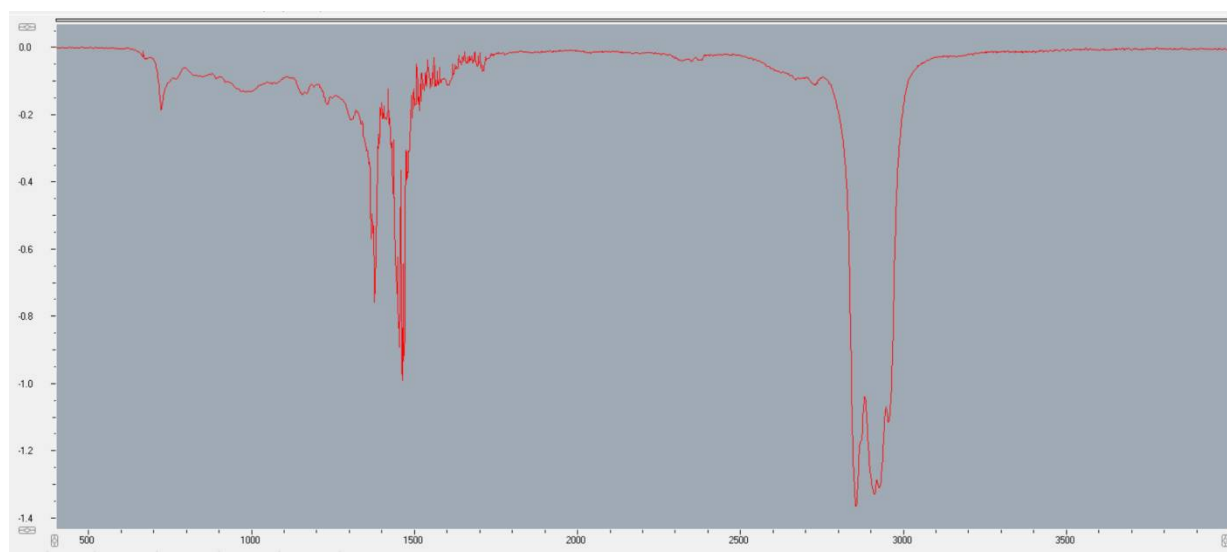


Рис. 3. ИК- спектр свежего масла класса 10w40

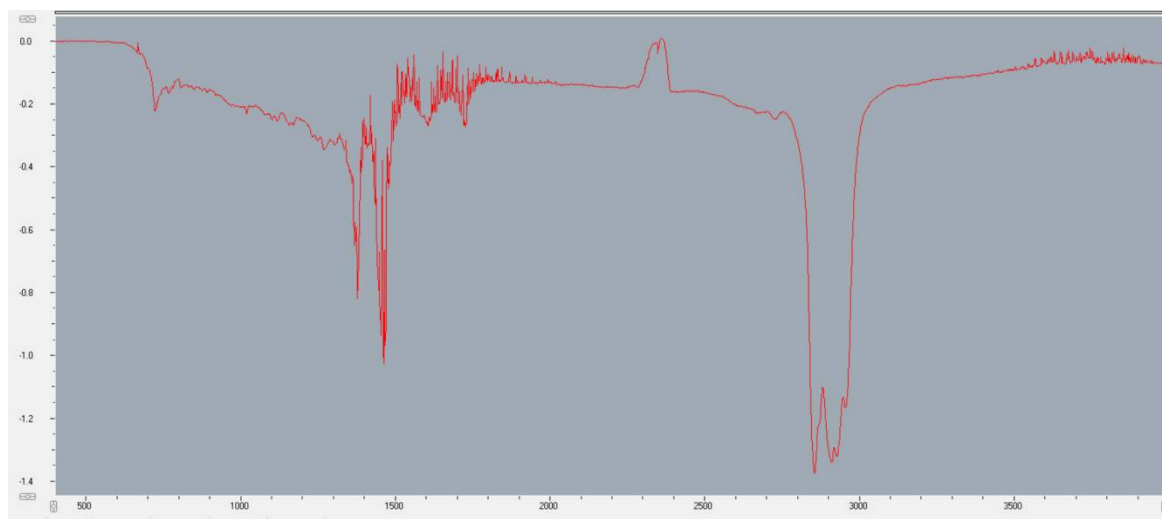
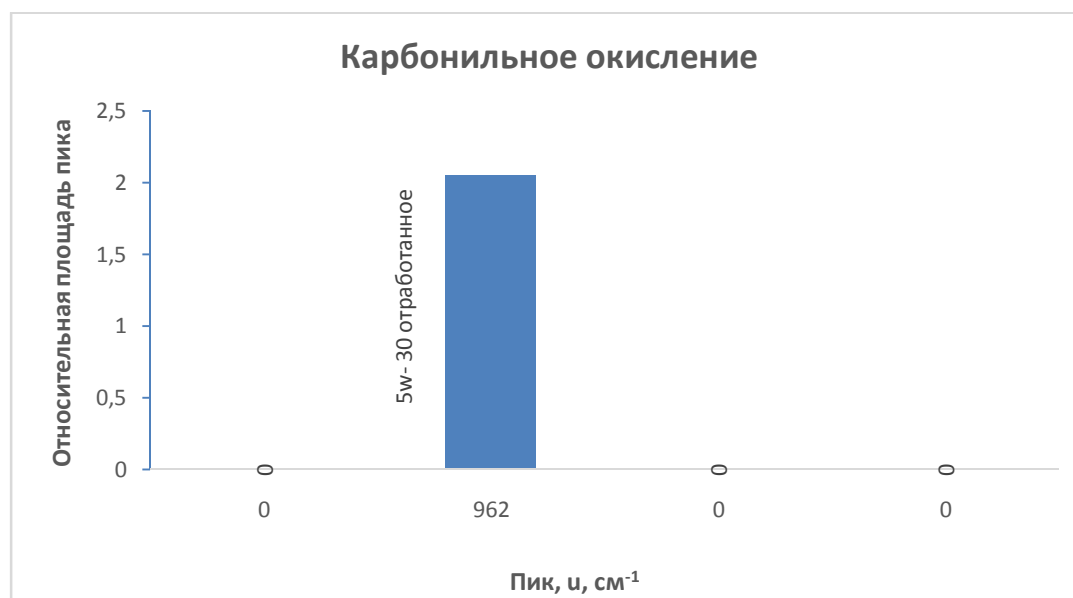


Рис. 4. ИК- спектр отработанного масла класса 10w40

По величине пика в спектральном диапазоне на волновых числах $879-966\text{ см}^{-1}$ определяется протекание карбонильного окисления. Степень карбонильного окисления является хорошим показателем деградации смазочного материала. Интенсивное карбонильное окисление указывает на перегрев двигателя или на истощение антиоксидантных присадок (например, Комплексал-7321А) в случае превышения срока замены масла. В результате исследования было установлено, что данный пик (962 см^{-1}) присутствует на ИК-спектре отработанного масла 5W-30 и отсутствует во всех других образцах, что может быть связано с образованием карбонильных соединений [2]. Относительной площади пиков представлена на диаграмме 1.

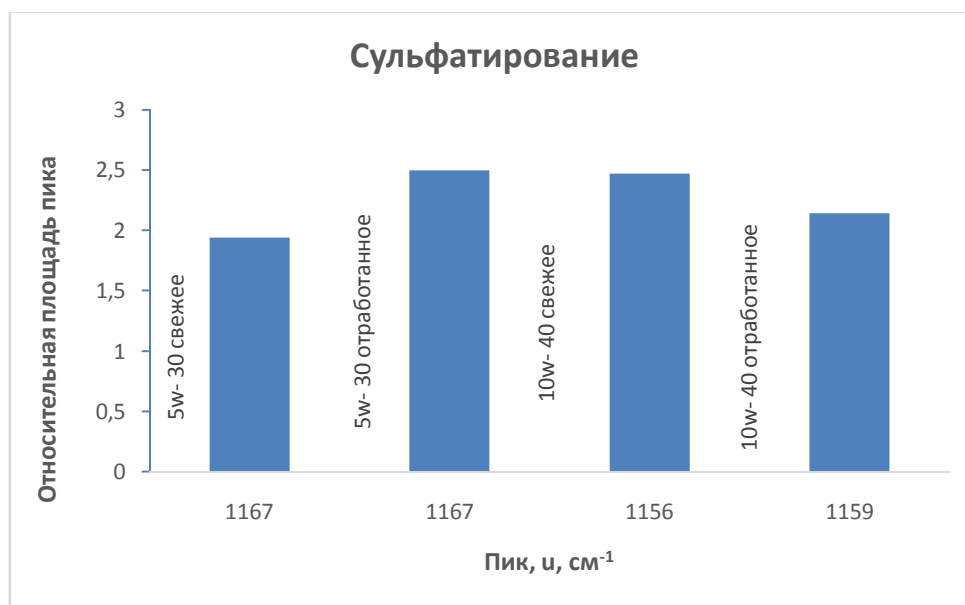
Диаграмма 1- относительная площадь пиков карбоксильного окисления.



Образующиеся при сгорании сернистых соединений оксиды серы нейтрализуются противоизносными присадками, при этом содержание их в масле уменьшается. Изменение интенсивности поглощения пиков в диапазоне волновых чисел $1180-1120\text{ см}^{-1}$ связано с содержанием серы в топливе, неполном сгорании рабочей смеси, пониженной температурой двигателя. В исследуемых образцах зависимости изменения пиков отличаются. В отработан-

ном масле 5W-30 пик увеличивается, что говорит о неравномерном распределении в масле противоизносной присадки из-за частичного истощения комплексной присадки Комплексал-7321А, в состав которой входят диспергирующие компоненты. Пик в отработанном масле 10W-40 уменьшается, что может объясняется выбросом оксидов серы с выхлопными газами из двигателя в газообразном состоянии.[2] Относительной площади пиков представлена на диаграмме 2.

Диаграмма 2- относительная площадь пиков сульфатирования



Образование кислородсодержащих соединений характеризуется наличием пиков поглощения в диапазоне $1800\text{-}1670\text{ cm}^{-1}$. Окисление базового масла в присутствии воды и кислот происходит за счет гидролиза сложных эфиров. В отработанных маслах исследуемых образцов значительно увеличивается (в 6 раз - 5W-30, в 3 раза - 10W-40) содержание кислородсодержащих соединений, т.е. срабатывается антиокислительная присадка ПМА-D и синтетические сложные эфиры подвергаются окислению.[2] Относительной площади пиков представлена на диаграмме 3.

Диаграмма 3- относительная площадь пиков окисления базового масла.



В исследуемых маслах изменение противоизносной присадки (например, *ДФ-11или* Комплексал-7321А) определяется величиной пика 840-600 (связь $P=S$). Увеличение показателя (5W-30 - в 1,4 раза, 10W-40 – в 1,9 раза) указывает на деградацию и истощение присадки, приводящей к разрыву связи $Me-S$. На этот показатель влияет избыточная нагрузка и эксплуатации непрогретого двигателя, попадание воды в масло, утечка охлаждающей жидкости. Деградация присадки приводит к уменьшению содержания металлов в масле. [2] Относительная площадь пиков представлена на диаграмме 4.

Диаграмма 4- относительная площадь пиков содержания присадки



Образование нитросоединений в процессе взаимодействия соединений азота при сгорании топливно-воздушной смеси с маслом характеризуется наличием пика в диапазоне вол-

новых чисел $1650\text{--}1600\text{ см}^{-1}$. Увеличение данного показателя (5W-30 - в 2 раза, 10W-40 – в 1,6 раза) указывает на повышение вязкости масла, образование отложений на рабочих поверхностях и избыточную нагрузку двигателя. При эксплуатации машины рекомендуется следить за температурой двигателя, оптимальным соотношением топливо-воздух. Повышение данного показателя в отработанном масле более чем в 2,5 раза связано с ухудшением уплотнений в цилиндровой поршневой группе двигателя. [2] Относительная площадь пиков представлена на диаграмме 5.

Диаграмма 5- относительная площадь пиков нитрования.



Таким образом, исследование ресурса работы моторных масел 5W-30 и 10W-40 методом ИК-спектроскопии в процессе эксплуатации продемонстрировало, что данный метод при незначительном расходе образца позволяет оценить изменения, протекающие в моторном масле в зависимости от условий работы автомобиля. Почти все показатели, полученные для масла 5W-30 оказались хуже, чем для масла 10W-40. Вполне вероятно это связано с тем, что за более короткий промежуток времени (5 месяцев - 5W-30, 7 месяцев - 10W-40) пробег автомобиля оказался выше (3120 км - 5W-30, 2200 км - 10W-40) и почти половина нагрузки на двигатель приходилась на трассу. Однако однозначный ответ на возможность дальнейшего использования данного смазочного материала и соответственно рекомендации по замене масла, могут быть даны при дополнительном определении физико-химических характеристик свежего и отработанного масла.

Библиографический список

1. Дёмочкина Я.В., Логинов В.С., Лызлова М.В., Мельник Г.И. Мониторинг химического состава полусинтетического моторного масла в процессе эксплуатации методом ИК-спектроскопии. тезисы доклада международной научно-технической и научно-методической конференции) Материалы международной научно-технической и научно-методической конференции «Современные технологии в науке и образовании» (СТНО-2020). Рязань: РГРТУ, 2020. Т.3. С.44-49.
2. Дёмочкина Я.В. Исследование присадок индустриального масла ИГП-18 ИК-спектрометрическими методом/ Я.В. Дёмочкина, Т.А. Модина, М.В. Лызлова, Г.И. Мельник// Биотехнические, медицинские, экологические системы и робототехнические комплексы- Биомедсистемы-2018: сб.тр. XXXI Всерос. Науч.-техн. Конф. Студ., мол. Ученых и спец., 4-6 декабря 2018 г. – Рязань: ИП Коняхин А.В. (Book jet), 2018.-с. 101-104.
3. Kovalenko V.V. IR Spectroscopy to Determine the Structural Group Composition of Base Oils 2019/ V.V. Kovalenko, M.V. Lyzlova, V.S. Loginov, G.I. Melnik// 8th Mediterranean Conference On Embedded Computing (MECO) 2019 including 2019, 10-14 June 2019, Budva, Montenegro, с. 370-373.

УДК 66.061.3; ГРНТИ 61.13.19

МЕТОДИКА СОЗДАНИЯ ТРЕУГОЛЬНОЙ ДИАГРАММЫ В MS EXCEL

В.В. Коваленко, Н.Ю. Кулавина, Г.А. Шашкина, Ю.С. Агаршева

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

Аннотация. В данной работе рассматривается методика построения треугольной диаграммы для определения состава трехкомпонентной смеси в программе MS Excel.

Ключевые слова: трехкомпонентная система, метод Гиббса, метод Розебома, концентрации компонентов, концентрационный треугольник, экстракция.

THE TECHNIQUE OF CREATING A TRIANGULAR CHART IN MS EXCEL

V.V. Kovalenko, N.U. Kulavina, G.A. Shashkina, Yu.S. Agarsheva

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

Annotation. This paper discusses the technique of constructing a triangular diagram to determine the composition of a three-component mixture in MS Excel.

Keywords: three-component system, Gibbs method, Rosebom method, component concentrations, concentration triangle, extraction.

В трехкомпонентных системах для построения диаграммы состояния необходимы три оси координат, по которым можно было бы откладывать концентрации каких-либо двух из трех компонентов. Концентрация третьего компонента определяется исходя из суммарной концентрации 100%.

Для таких систем используют треугольные координаты на плоскости, которые представляют собой равнобедренный треугольник, называемый концентрационным. По его сторонам откладываются концентрации трех компонентов.

Вершины треугольника соответствуют стопроцентному содержанию или молярным долям, равным единице чистых веществ A , B и C , а точки на сторонах - составам двухкомпонентных систем AB , BC и AC (рисунок 1, а). Любая точка внутри треугольника ABC отражает состав трехкомпонентной системы в массовых содержаниях, процентах (или молярных долях).

Для определения состава трехкомпонентной смеси существует два метода, основанные на свойствах правильных треугольников: Гиббса и Розебома [1].

Метод Гиббса основан на том, что сумма перпендикуляров, опущенных из любой точки внутри треугольника на его стороны, равна высоте BH . Этот отрезок (высота) соответствует 100 % какого-либо компонента. Например, для точки O сумма перпендикуляров $Oa + Ob + Oc = BH = 100\%$ (рисунок 1, а). Отрезки Oa , Ob и Oc дают содержания компонентов A , B и C .

По методу Розебома за 100 % принимают сторону треугольника и наносят сетку линий, параллельных каждой стороне. Сумма отрезков таких линий, исходящих из данной точки O и кончающихся на сторонах треугольника есть постоянная величина, равная любой из сторон [2]. На рисунке 2, б эти линии показаны пунктиром. Для точки O $Oa^* + Ob^* + Oc^* = AB = BC = AC = 100\%$.

Внутри концентрационного треугольника линии, параллельные каждой из его сторон, представляют собой геометрические места точек для смесей с постоянным содержанием одного компонента. Линии, соединяющие вершины сторон треугольника с противоположными сторонами, являются геометрическими местами точек смесей, в которых остается постоянным отношение концентраций двух компонентов. Составы всех смесей вдоль прямой A характеризуются постоянным отношением концентраций B и C , а составы смесей, отвечающие точкам на высоте BH , содержат компоненты A и C в постоянном отношении 1:1.

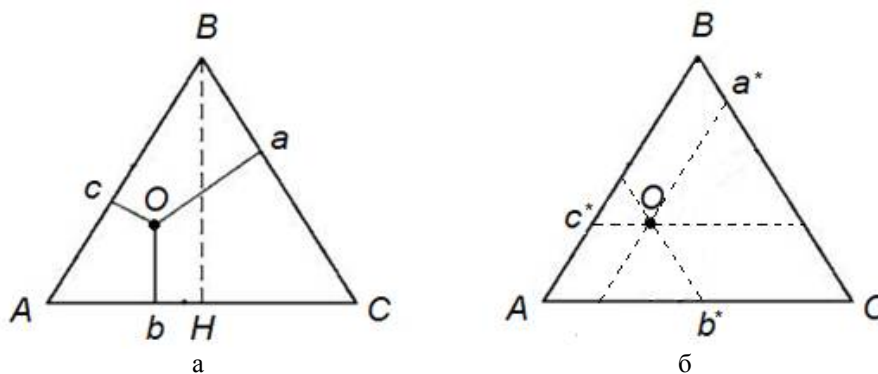


Рис. 1. Треугольные диаграммы по методам Гиббса (а) и Розенбома (б)

Если компоненты A и B , B и C неограниченно растворимы, а компоненты A и C ограниченно растворимы, то на диаграмме появляется гетерогенная область, ограниченная *линией расслоения* – кривая $a_k b$ (рисунок 2).

Смешение компонентов A и C приводит к образованию жидкой системы, состоящей из двух слоев, один из которых представляет собой насыщенный раствор вещества C в растворителе A (точка $a1$), а другой – насыщенный раствор вещества A в растворителе C (точка $b1$).

Введенное в систему третье вещество B перераспределяется между слоями.

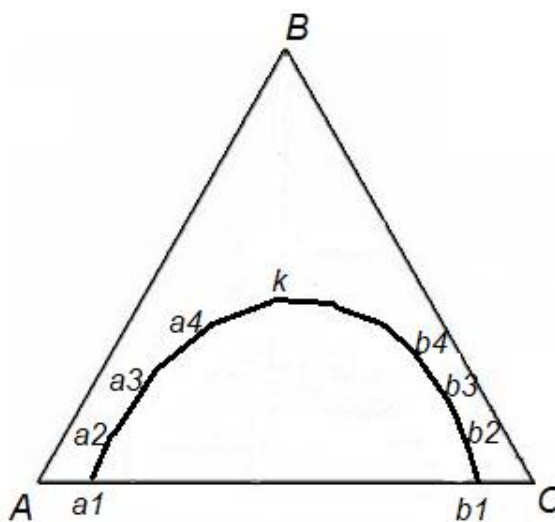


Рис. 2. Гетерогенная область, ограниченная линией расслоения

Треугольные диаграммы состава трехкомпонентных систем находят широкое применение в процессе *экстракции*.

Экстракция – извлечение из многокомпонентного раствора одного или нескольких компонентов с помощью другого растворителя, который практически не смешивается с данным раствором и обладает способностью избирательно растворять целевые компоненты, находящиеся в его составе.

Пусть целевой компонент B растворен в растворителе C . Добавляется растворитель A . Образуется двухфазная система, в которой вещество B перераспределяется между фазами (рисунок 3).

В программе Excel треугольной диаграммы нет, но ее можно построить путем преобразования прямоугольных координат в треугольные.

Из графика на рисунке 3 следует, что $h_i = x_i \times \operatorname{tg}(60^\circ)$ до значений $x = 50\%$ и $h_i = (100 - x_i) \times \operatorname{tg}(60^\circ)$.

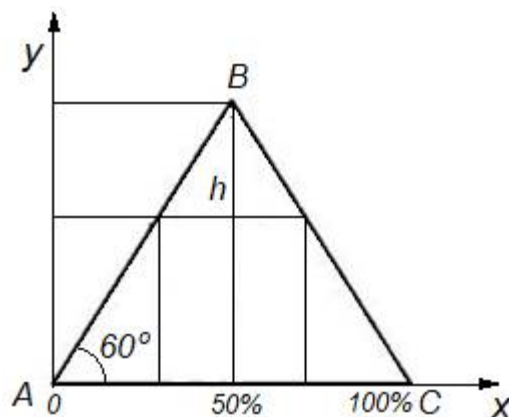


Рис. 3. Преобразование прямоугольных координат в треугольные

Для получения треугольной диаграммы используется точечная диаграмма с прямыми отрезками и маркерами программы MS Excel.

Для получения точек на координатных линиях пересчитываются значения для x с определенным шагом. Треугольные координаты с шагом 10 приведены на рисунке 4, а. Линии равных концентраций строятся между парами точек на сторонах треугольника (рисунок 4, б).

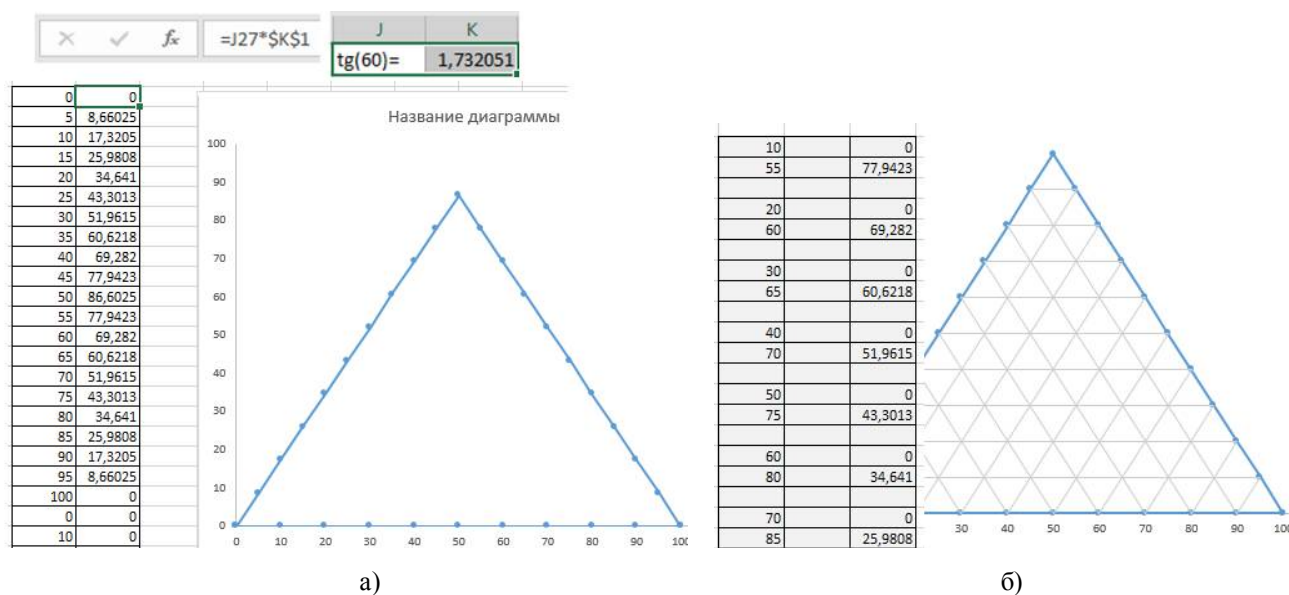


Рис. 4. Построение точек треугольных координат (а), и линий равных концентраций (б)

Пересчет значений внутри треугольных координат основан на подобии треугольников. Значения c и b треугольных координат связаны с прямоугольными x и y зависимостями, показанными на рисунке 5.

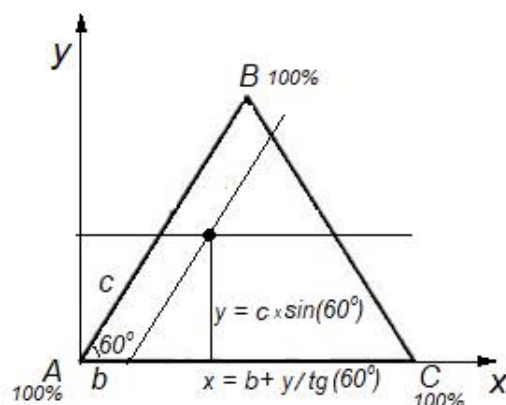


Рис. 5. Взаимосвязь треугольных координат и прямоугольных

Построение диаграммы фазового равновесия внутри треугольных координат рассматривается на примере данных о равновесных составах для сосуществующих фаз для системы вода-ацетон-хлорбензол, представленных в таблице [3].

Таблица. К построению диаграммы фазного равновесия внутри треугольных координат

Равновесные составы для сосуществующих фаз, масс. %					
Водный слой			Слой хлорбензола		
Вода	Ацетон	Хлорбензол	Вода	Ацетон	Хлорбензол
99,89	0	0,11	0,18	0	99,82
89,79	10	0,21	0,49	10,79	88,72
79,69	20	0,31	0,79	22,23	76,98
69,42	30	0,58	1,72	37,48	60,80
58,64	40	1,36	3,05	49,44	47,51
46,28	50	3,72	7,24	59,19	33,57
27,41	60	12,59	22,85	61,07	15,08
25,66	60,58	13,76	25,66	60,58	13,76

В столбцы D и E вносятся названия и единицы измерения компонентов, значения для ацетона и хлорбензола (рисунок 6). Вычисляются значения $\sin$ и tg угла 60° . По формулам, приведенным на рисунке 4, вычисляются значения прямоугольных координат, соответствующие треугольным. Для y функция ячеек столбца N имеет вид $D4*\$I\I , для x (столбец J) $E4+N4/\$K\I .

D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
		60 град.=	1,0472	$\sin(60)=$	0,86603	$\operatorname{tg}(60)=$	1,73205				
Ацетон,масс.	Хлрбенз,масс.%	Вода, масс.%				$x=X_{\text{лб}}+y/\operatorname{tg}(60)$				$y=A_{\text{ц}}*\sin(60)$	
0	0,11					0,11				0	
10	0,21					5,21				8,66025	
20	0,31					10,31				17,3205	
30	0,58					15,58				25,9808	
40	1,36					21,36				34,641	
50	3,72					28,72				43,3013	
60	12,59					42,59				51,9615	
60,58	13,76					44,05				52,4638	
61,07	15,08					45,615				52,8882	
59,19	33,57					63,165				51,26	
49,44	47,51					72,23				42,8163	
37,48	60,8					79,54				32,4586	
22,23	76,98					88,095				19,2517	
10,79	88,72					94,115				9,34441	
0	99,82					99,82				0	

Рис. 6. Процесс вычисления значений прямоугольных координат в программе Excel

Надписи для 100% концентраций компонентов берутся из ячеек столбцов D, E и F.

Треугольная диаграмма для расчета процесса экстракции вода – ацетон - хлорбензол представлена на рисунке 7.

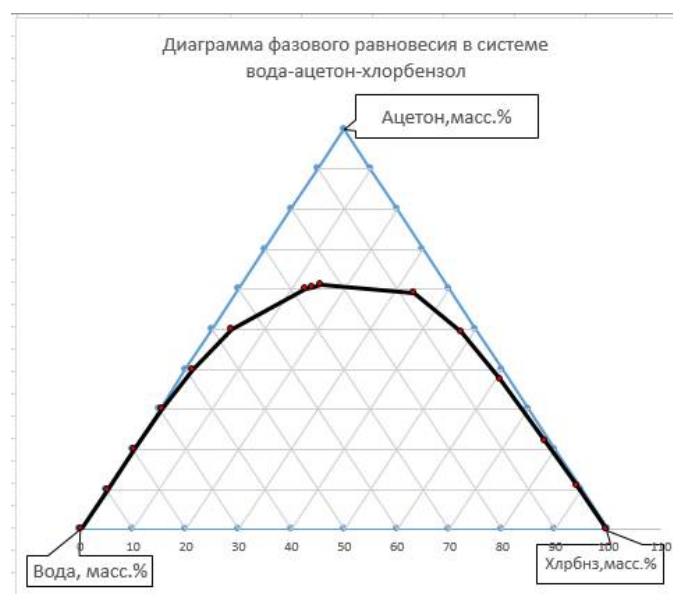


Рис. 7. Диаграмма фазового равновесия системы вода-ацетон-хлорбензол

Все значения координаты x должны располагаться в одном столбце таблицы диаграммы.

При внесении других названий и данных о концентрациях диаграмма автоматически пересчитывается. При внесении данных системы вода - уксусная кислота - изопропиловый эфир в столбцы D и E получается диаграмма, представленная на рисунке 8.

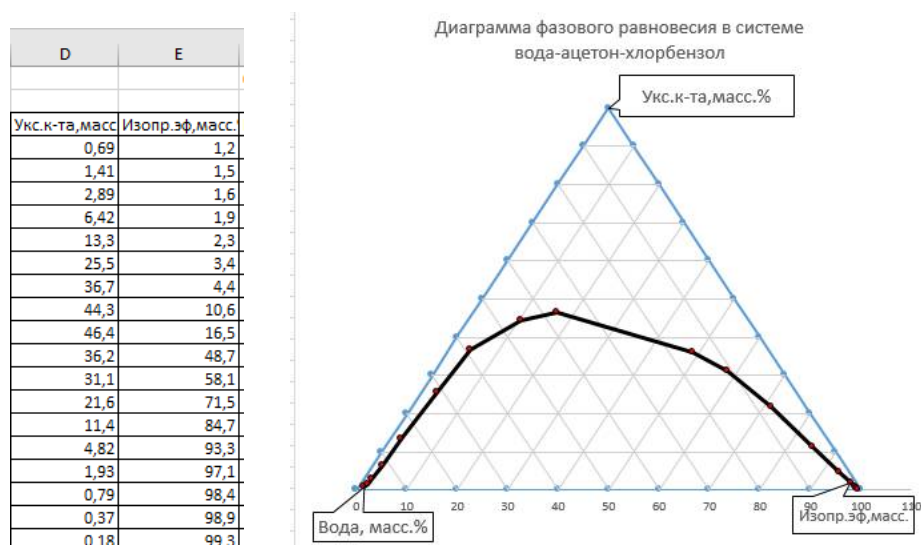


Рис. 8. Диаграмма фазового равновесия системы вода-уксусная кислота-изопропиловый эфир

В работе приведен один из методов построения системы из трех координат на плоскости. Данный метод может использоваться для любой трехкомпонентной системы. Количество точек диаграммы задается при пересчете данных в столбцах J, N и ограничивается любым выбранным диапазоном.

Библиографический список

1. Романков, П. Г. Массообменные процессы химической технологии : учебное пособие / П. Г. Романков, В. Ф. Фролов, О. М. Флисюк. — Санкт-Петербург : ХИМИЗДАТ, 2017. — 440 с.
2. Романков, П. Г. Методы расчета процессов и аппаратов химической технологии (примеры и задачи) : учебное пособие для вузов / П. Г. Романков, В. Ф. Фролов, О. М. Флисюк. — Санкт-Петербург : ХИМИЗДАТ, 2017. — 544 с.
3. Павлов К.Ф., Романков П.Г., Носков А.А. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии: учеб.пособие для вузов. – М.: Альянс, 2013. – 576 с.

УДК 54.062; ГРНТИ 61.13.21

ОБРАБОТКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ МЕТОДОМ НАИМЕНЬШИХ КВАДРАТОВ В ПРОГРАММЕ SMATHSTUDIO

В.В. Коваленко, Н.Ю. Кулавина, Г.А. Шашкина, П.А. Нахаева, Д.В. Бузин
Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Россия, Рязань, xt-kontakt.ru

Аннотация. Рассмотрена обработка экспериментальных данных методом наименьших квадратов в программе SMathStudio.

Ключевые слова: эксперимент, метод наименьших квадратов, программе SMathStudio, аппроксимация.

PROCESSING OF EXPERIMENTAL DATA BY THE METHOD LEAST SQUARES IN THE SMATHSTUDIO PROGRAM

V.V. Kovalenko, N.Yu. Kulavina, G.A. Shashkina, P.A. Nakhaeva, D.V. Buzin
Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,
Russia, Ryazan, xt-kontakt.ru

Annotation. The processing of experimental data by the least squares method in the SMath Studio program is considered.

Keywords: experiment, least squares method, SMath Studio program, approximation.

Технологические процессы нефтехимического производства сложны по физико-химической природе. Поэтому при обработке экспериментальных данных широкое применения находят методы математического статистического анализа, в частности метод регрессионного анализа [1]. Он позволяет оценить статистическую значимость параметров модели по t-критерия Стюдента, адекватность и точность модели. Полезно выполнить отбор главных факторов методом исключения факторов по значению коэффициентов парной корреляции.

Самым простым для анализа является объект с одним входным и одним выходным фактором [2]. Выходным фактором Y может быть один из показателей качества исследуемого технологического процесса, входным – параметр X технологического процесса (рисунок 1).

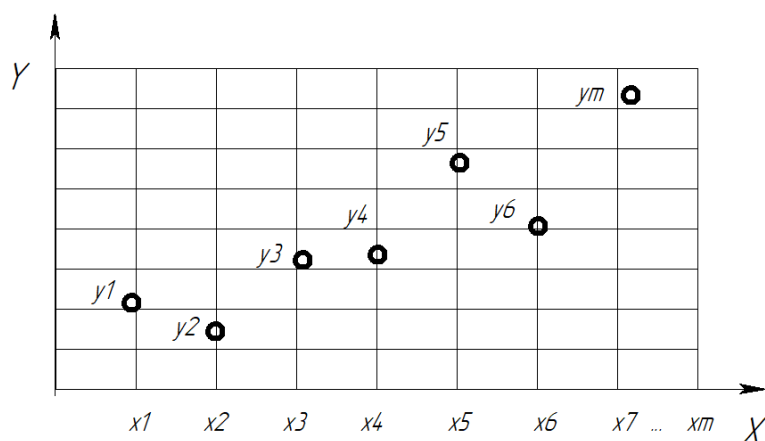


Рис. 1. Зависимость выходного фактора от входного

Экспериментальные данные обычно оформляются в виде таблицы (точечного графика). Задачей метода наименьших квадратов является нахождение коэффициентов зависимости $f(x)$ (линейной, гиперболической, логарифмической, экспоненциальной и любой другой), при которых сумма квадратов отклонений между эмпирическими y_i и теоретическими $f(x_i)$ значениями функции будет минимальной.

$$\sum_i e_i^2 = \sum_i (y_i - f_i(x))^2 \rightarrow \min_x.$$

Для определения вида аппроксимирующей функции $f(x)$ нужно построить график по данным эксперимента, определить наиболее подходящую зависимость. Если трудно определиться с видом зависимости, то вычисляется значение суммы квадратов отклонений для каждой предполагаемой функции. Выбирается функция, сумма квадратов отклонений от значений которой будет минимальной.

Решение сводится к нахождению коэффициентов при неизвестных функции $f(x)$, при которых достигается минимальное значение функции F (1), которая представляет собой сумму квадратов разностей между имеющимися дискретными значениями и предполагаемой зависимостью.

$$F = \sum (y_i - f(x_i))^2, \quad (1)$$

Из этого условия необходимо определить коэффициенты при неизвестных искомой функции $f(x)$, которые должны соответствовать условию минимума квадратов разностей.

Для получения минимума функции необходимо приравнять нулю первые производные по каждому из коэффициентов функции суммы квадратов отклонений (1) - dF/da , dF/db , dF/dc и т.д.

Коэффициенты линейной функции $f(x)=ax+b$ находятся при решении системы уравнений, которые получаются как производные по каждому из коэффициентов уравнения суммы квадратов отклонений (2).

$$F(a; b) = \sum_{i=1}^n e_i^2 = \sum_{i=1}^n (y_i - (ax_i + b))^2, \quad (2)$$

$$\begin{cases} \frac{F(a;b)}{da} = 0 \\ \frac{F(a;b)}{db} = 0 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} a \sum_{i=1}^n x_i^2 + b \sum_{i=1}^n x_i = \sum_{i=1}^n x_i y_i \\ a \sum_{i=1}^n x_i + bn = \sum_{i=1}^n y_i \end{cases} \quad (3)$$

Подстановкой можно получить значения коэффициентов (4).

$$a = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n y_i}{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2}; \quad b = \frac{\sum_{i=1}^n y_i - a \sum_{i=1}^n x_i}{n}. \quad (4)$$

Найденные коэффициенты определяют минимальное значение показателя $\sum e_i^2$, который является наименьшим для всех линейных функций, то есть в своём семействе это наилучшее приближение.

Найденные коэффициенты определяют минимальное значение показателя $\sum e_i^2$, который является наименьшим для всех линейных функций, то есть в своём семействе это наилучшее приближение.

Определение коэффициентов аппроксимирующей функции в программе SMathStudio

Для определения коэффициентов любой из представленных функций необходимо найти производные по каждому из коэффициентов и решить полученную систему нелинейных уравнений. В программе SMathStudio производная определяется командой $\frac{d}{da}$, для решения нелинейных уравнений используется функция **Roots**.

Множество точечных данных представлено в таблице 1.

Таблица 1. Экспериментальные данные

xd	1	2	3	4	5	6	7	8	9
yd	5,24	7,698	8,47	9,512	6,88	8,75	7,176	8,23	7,84

Задайте векторы диапазона данных xd и значений yd. Для графика задайте вид точки в кавычках ("."), размер точки 14, цвет черный, (рисунок 2).

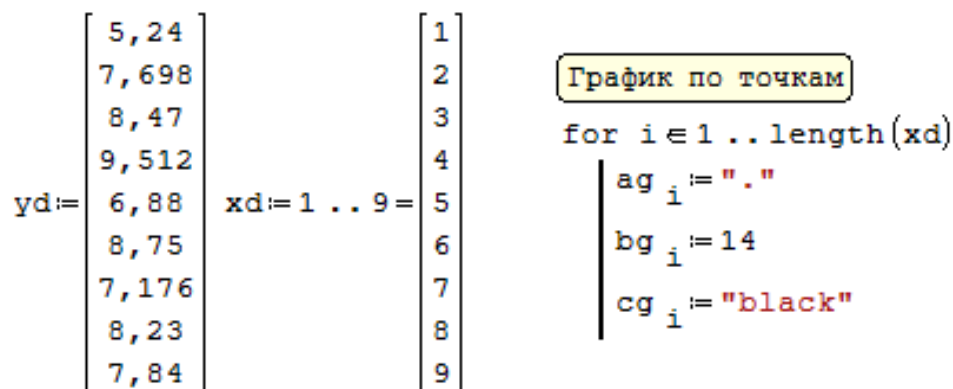


Рис. 2. Векторы значений x, y, параметров точек

Постройте график по точкам (рисунок 3).

`DF:=augment(xd ; yd ; ag ; bg ; cg)`

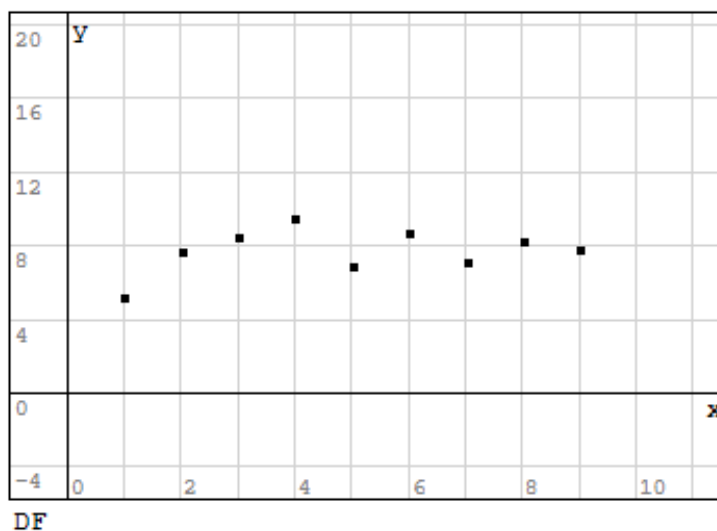


Рис. 3. Точечный график

Функция roots с производными линейной функции по коэффициентам a и b представлена на рисунок 3.

$$\text{roots} \left(\left[\begin{array}{c} \frac{d}{da} \left(\sum_{i=1}^{\text{length}(yd)} \left(yd_i - (a \cdot xd_i + b) \right)^2 \right) \\ \frac{d}{db} \left(\sum_{i=1}^{\text{length}(yd)} \left(yd_i - (a \cdot xd_i + b) \right)^2 \right) \end{array} \right], \left[\begin{array}{c} a \\ b \end{array} \right] \right) = \left[\begin{array}{c} 0,1441 \\ 7,0346 \end{array} \right]$$

Рис. 3

Полученные коэффициенты подставляются в уравнение. График строится в тех же координатах (рисунок 4).

$$\text{Lin} := \left[\begin{array}{c} 0,1441 \\ 7,0346 \end{array} \right] \quad y_{\text{Lin}} := \text{Lin}_1 \cdot x + \text{Lin}_2$$

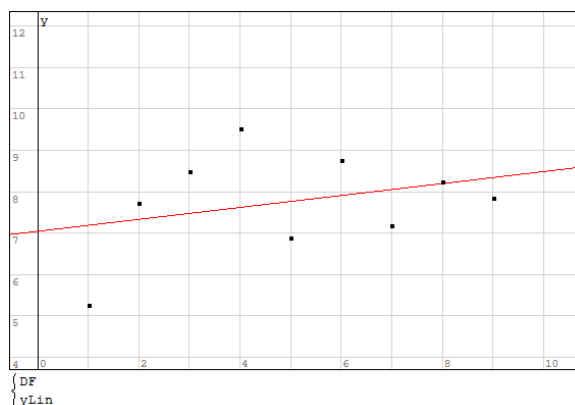


Рис. 4. График линейной функции

Сумма квадратов разностей

$$eLin := \sum_{i=1}^{\text{length}\{yd\}} \left(yd_i - (rL_1 \cdot (xd_i) + rL_2) \right)^2 = 11,0046$$

Далее определяются коэффициенты гиперболической, логарифмической, параболической функций, постройте графики (рисунок 5).

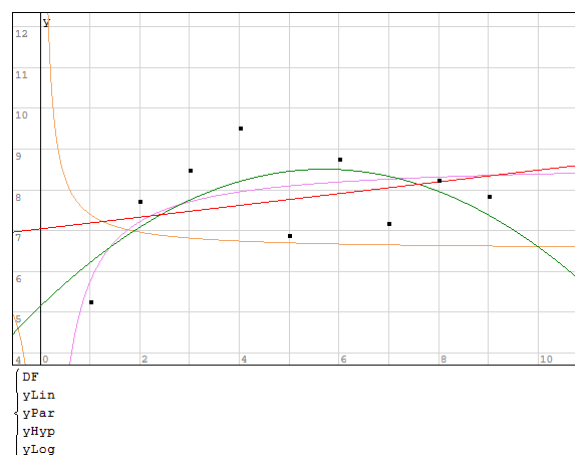


Рис. 5. Графики гиперболической, логарифмической, параболической функций

Для каждой функции вычисляется сумма квадратов разностей, по которым определяется наиболее точная модель.

В данной работе предложено строить регрессионные модели в бесплатной, доступной для студентов программе SMATHStudio.

Библиографический список

1. Методы статистической обработки медицинских данных: Методические рекомендации для ординаторов и аспирантов медицинских учебных заведений, научных работников / сост.: А.Г. Кочетов, О.В. Лянг., В.П. Масенко, И.В. Жиров, С.Н. Наконечников, С.Н. Терещенко – М.: РКНПК, 2012. – 42 с..
2. Жученко, Ю. М. Основы статистики. Лабораторный практикум: учеб.-метод. пособие / Ю. М. Жученко, А. А. Ковалев, В. А. Игнатенко. — Гомель: ГомГМУ, 2016. — 176 с.
3. Аверченков В.И. Основы математического моделирования технических систем [Электронный ресурс] : учебное пособие / В.И. Аверченков, В.П. Федоров, М.Л. Хейфец. — Электрон. текстовые данные. — Брянск: Брянский государственный технический университет, 2012. — 271 с. — 5-89838-126-0. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/7003.html>.

УДК 004.94; ГРНТИ 28.17.33

РАЗРАБОТКА ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ 3D МОДЕЛИ РЕЗЕРВУАРА ИЗ 2D ЧЕРТЕЖА

В.В. Коваленко, Н.Ю. Кулавина, Г.А. Шашкина, Е.О. Артюх, М.М. Штукина, Е.М. Толмачева

Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,

Россия, Рязань, xt-kontakt@mail.ru

Аннотация. В данной работе рассматривается разработки 3D модели резервуара по готовому чертежу в программе T-FLEX CAD.

Ключевые слова: 3D моделирование, программа T-FLEX CAD, 3D сцена, проекционная связь, 3D модель резервуара.

DEVELOPMENT OF A PARAMETRIC 3D MODEL RESERVOIR FROM 2D DRAWING

V.V. Kovalenko, N.U. Kulavina, G.A. Shashkina, E.O. Artyukh, M.M. Shtukina, E.M. Tolmacheva

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

Russia, Ryazan, xt-kontakt@mail.ru

Annotation. In this paper, we consider the development of a 3D model of a reservoir according to a ready-made drawing in the T-FLEX CAD program.

Keywords: 3D modeling, T-FLEX CAD program, 3D scene, projection communication, 3D reservoir model.

3D моделирование объектов реального мира – это один из перспективных путей увеличения эффективности использования различной информации в обучении, творчестве, разработке и проектировании, прогнозировании и анализе во многих направлениях деятельности человека.

Оборудование, которое используется в химической и нефтехимической промышленности, можно отнести к высоко технологичным и сложным инженерным конструкциям. Для понимания принципов устройства, а также в исследовательской деятельности и при эксплуатации данного оборудования существенную роль может сыграть визуальное представление конструкций аппаратов в виде 3D моделей.

Пространственная модель в сочетании с чертежом дает более полное представление о конструктивном исполнении оборудования химических и нефтехимических производств, режимах их работы, выполнении требований, предъявляемых к оборудованию (обеспечение заданного режима, возможности применения автоматического контроля и регулирования, легкость ремонта и монтажа, надежность и безопасность эксплуатации), путях интенсификации работы оборудования. Трехмерная модель позволяет оценить будущую конструкцию оборудования, обнаружить недостатки и устранить их на этапе проектирования.

В данной статье рассматриваются варианты разработки 3D модели по готовым чертежам или рисункам в программе T-FLEX CAD.

В качестве примера рассматривается чертеж наземного горизонтального резервуара РГС-50 объемом 50 м³ (рисунок 1) [1,2,3].

Для получения 3D модели к рабочему полю добавляется 3D сцена, которая находится с ним в проекционной связи, что означает сохранение геометрических взаимосвязей и переносных чертежа в 3D модели [4]. Размеры всех элементов чертежа последовательно переносятся на 3D сцену. Для этого создаются две рабочие плоскости на чертеже, которые разделяют виды спереди и слева, изображение которых появляется в 3D окне (рисунок 2).

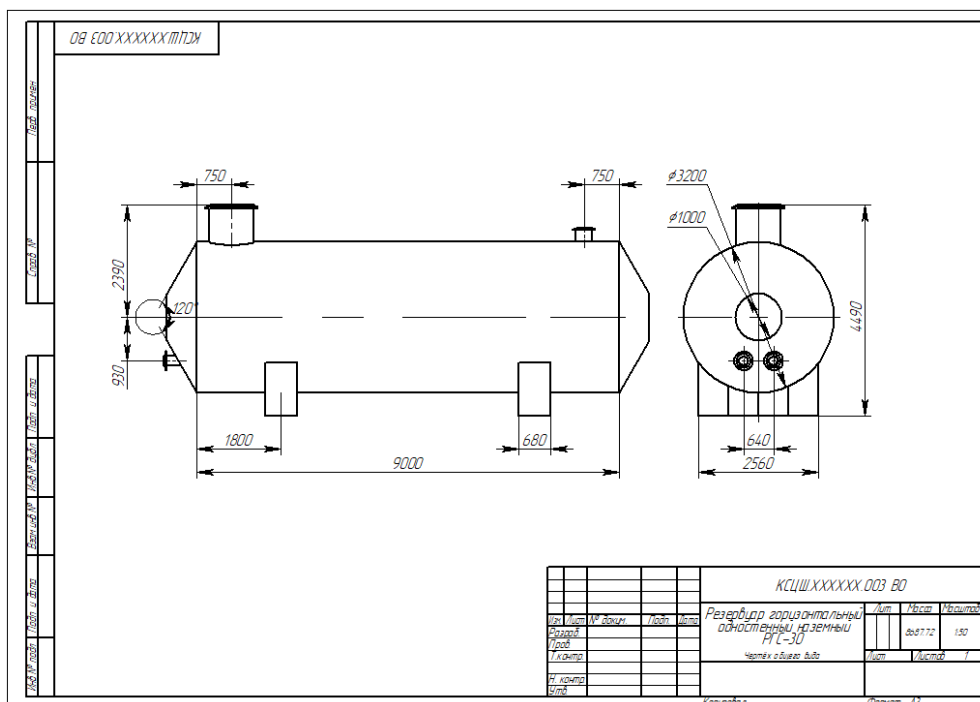
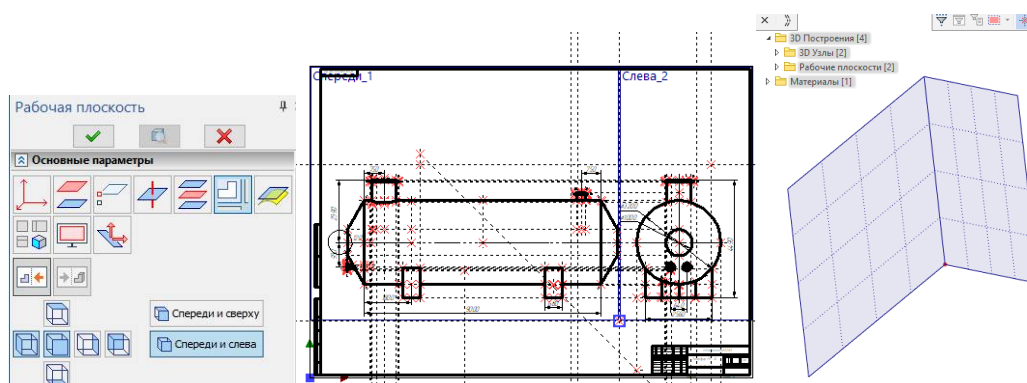
Рис. 1. Чертеж наземного горизонтального резервуара РГС-50 объемом 50 м³

Рис. 2. Рабочие плоскости на чертеже и в 3D окне

Корпус резервуара создается операцией вращения линий чертежа с толщиной стенок резервуара вокруг оси, образованной 3D узлами, выделенными на чертеже. Отображением с симметрией получается корпус резервуара (рисунок 3).

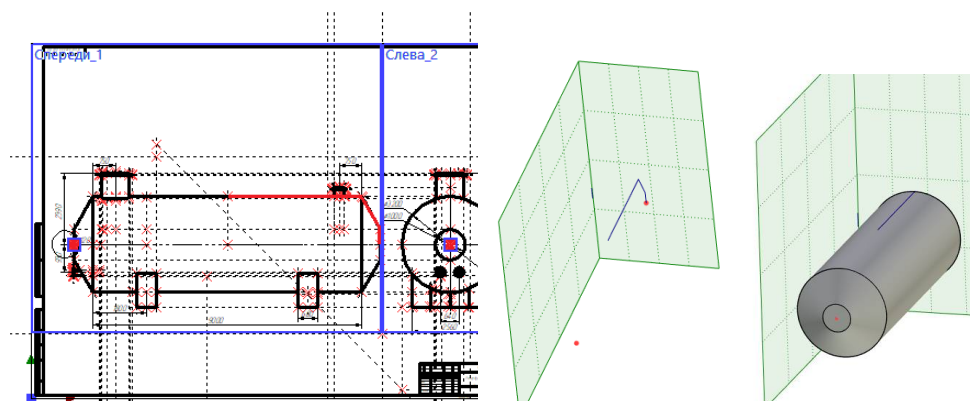


Рис. 3. Создание корпуса резервуара

Для создания люка используется вращение двух профилей. Первый профиль образует сплошное тело, второй вычитает тело из первого и одновременно образует отверстие в корпусе резервуара. Для получения профиля выполняется невидимая штриховка, переносится на 3D поле и привязывается к 3D узлу, образованному в центре верха люка (рисунок 4). На 3D виде получается люк вращением первого профиля со сложением, второго с вычитанием.

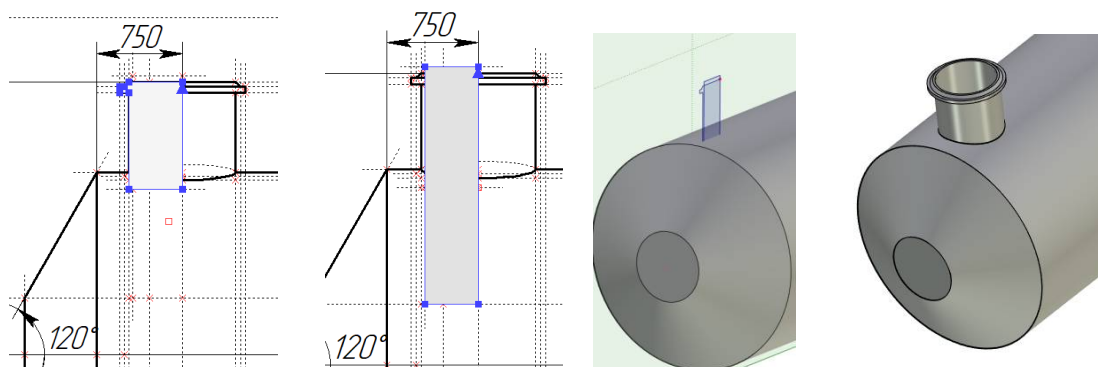


Рис. 4. Создание люка

Аналогично создаются входной и выпускные штуцеры (рисунок 5).

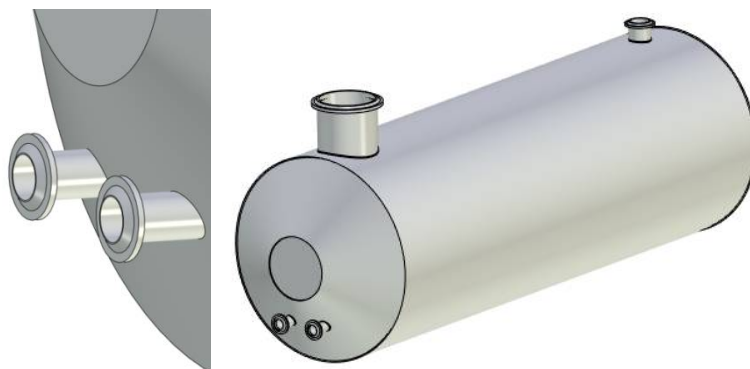


Рис. 5. Создание выпускных штуцеров

Для построения опор переносится в 3D окно 3D узлы центров их расположения и переносится профиль опоры, полученный штриховкой (рисунок 6).

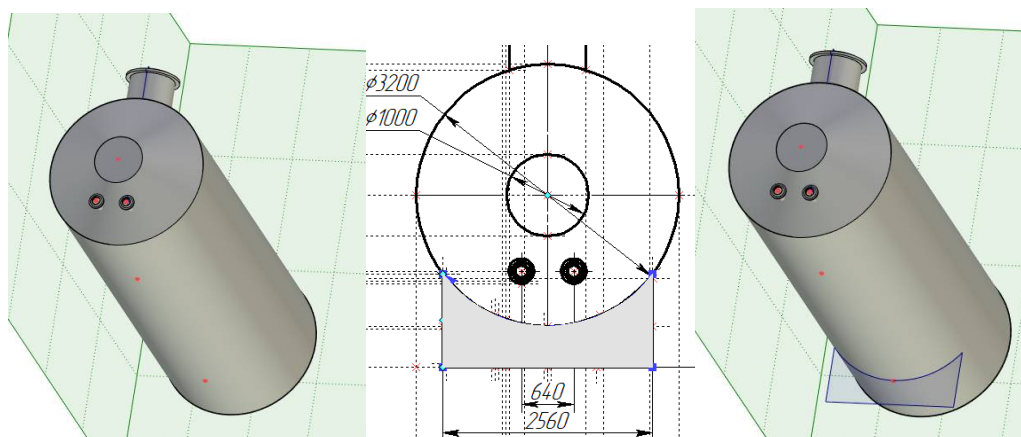


Рис. 6. Создание профиля опоры

Операцией выталкивания в две стороны симметрично без сложения создается средняя сплошная часть опоры. Операцией выталкивания в две стороны симметрично без сложения тонкостенного элемента создается тонкая широкая часть опоры с перегородками (рисунок 7).

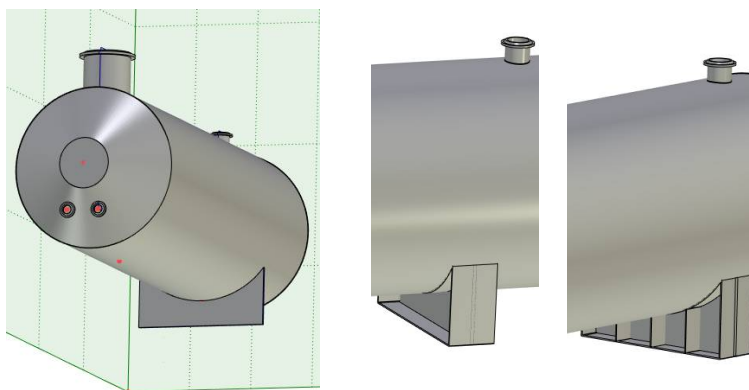


Рис. 7. Создание перегородок опоры

С помощью инструмента Линейный массив из двух элементов с шагом, определенным положением 3D узлов, получается вторая опора (рисунок 8).

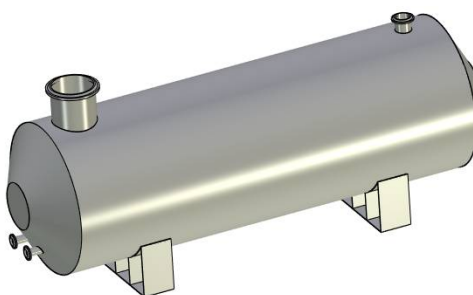


Рис. 8. Создание второй опоры

Проекционная связь между чертежом и 3D моделью сохраняется и при изменении переменных в чертеже меняются соответствующие размеры в трехмерном изображении.

Например, при изменении длины резервуара в редакторе переменных одновременно меняется чертеж и 3D модель (рисунок 9).

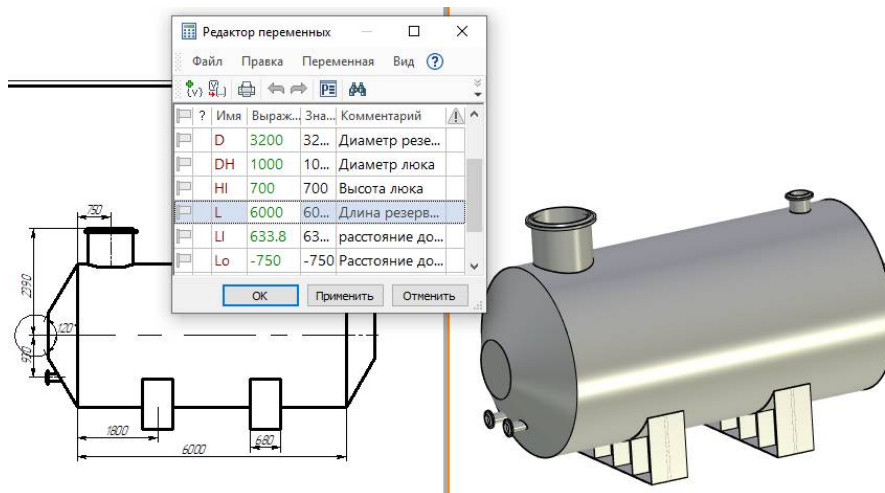


Рис. 9. Изменение размеров чертежа и модели

В связи с тем, что наибольшее число аппаратов и устройств, задействованных в современном производстве, создавались и создаются по чертежам, функция создания трехмерных моделей по чертежам достаточно востребована в настоящее время. Метод несомненно требует определенного навыка и практического опыта, при наличии которых создание 3D модели по чертежу не потребует большого количества времени.

Библиографический список

1. ГОСТ 12620–78. Днища конические неотбортованные с углами при вершине 60, 90 и 120° = Conical heads without knuckle, apex angles 60, 90 and 120 degrees. Basic dimensions: государственный стандарт Союза ССР: издание официальное: утвержден и введен в действие Постановлением Государственного комитета стандартов Совета Министров СССР от 30 января 1978 г. № 292: дата введения 1979-01-01.- Москва, Издательство стандартов, 1979. - 11 с. - Текст непосредственный.
2. ГОСТ 17032–2010. Резервуары стальные горизонтальные для нефтепродуктов. Технические условия = Horizontal steel tanks for petroleum products. Specifications: межгосударственный стандарт: издание официальное: утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 19 апреля 2011 г. № 50-ст : введен впервые : дата введения 2012-01-01 / разработан Закрытым акционерным обществом "Центральный ордена Трудового Красного Знамени научно-исследовательский и проектный институт строительных металлоконструкций им. Н.П.Мельникова" (ЗАО "ЦНИИПСК им. Н.П.Мельникова"), Открытым акционерным обществом "РЕЗМЕТКОН", Открытым акционерным обществом "Новокузнецкий завод резервуарных металлоконструкций имени Н.Е.Крюкова" - Москва : Стандартинформ, 2011. - 17 с. - Текст непосредственный.
3. ГОСТ 17032–71. Резервуары стальные горизонтальные для нефтепродуктов. Типы и основные размеры = Horizontal steel tanks for oil-products. Types and principal dimensions государственный стандарт Союза ССР: издание официальное: утвержден и введен в действие Государственным комитетом Совета Министров СССР по делам строительства: введен впервые : дата введения 1972-01-01 / разработан ЦНИИ Проектстальконструкция - Москва : Издательство стандартов, 1971. - 5 с. - Текст непосредственный.
4. T-FLEX CAD 10. Создание трёхмерной модели на основе 2D чертежей: методические указания к лабораторной работе / Рязан. гос. радиотехн. ун-т; сост.: Вик.В. Коваленко, Н.Ю. Кулакина, М.И. Кудрявцева; под ред. В.Ф. Шевченко. - Рязань, 2008. - 16 с.

УДК 544.77; ГРНТИ 31.15.37

ИЗУЧЕНИЕ ЗАВИСИМОСТИ СВОЙСТВ НЕФТЕЗАГРЯЗНЕННЫХ ЭМУЛЬСИЙ ОТ ПРИСУТСТВИЯ ЭЛЕКТРОЛИТОВ

Е.В. Воробьева*, А.А. Чихачев**, М.Д. Ойцев**

*Рязанский институт (филиал) Московского политехнического университета,
Россия, Рязань, vorobeva-70@bk.ru,

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

Аннотация. Рассмотрено влияние электролитов-коагулянтов на свойства нефтесодержащих систем.

Ключевые слова: пневмосепарирование, электролиты-коагулянты, нефтепродукты.

SIMULATION OF FADING SIGNALS OF MILLIMETER WAVES BAND

E.V. Vorobyova *, A.A. Chikhachev **, M.D. Oytsev **

*Ryazan Institute (branch) Moscow Polytechnic University,
Russia, Ryazan, vorobeva-70@bk.ru,

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

Abstract. The influence of electrolytes-coagulants on the properties of oil-containing systems is considered.

Keywords: pneumoseparation, electrolytes-coagulants, petroleum products.

Практически все нефтеперерабатывающие технологии предусматривают потребление огромного количества воды, сопровождающееся ее загрязнением. Образовавшиеся сточные воды производства представляют собой сложные гетерогенные коллоиды, в состав которых входят эмульгаторы, стабилизаторы, взвеси, частично продукты переработки и электролиты. Все это стабилизирует стоки, затрудняет их дальнейшую очистку и не позволяет вернуть в оборотную систему завода или сбросить в водоем. В связи с этим, необходимость разработки технологии очистки сточных вод, позволяющая достичь ПДК, весьма актуальна [1].

В ходе научно-исследовательской работы нами было изучено влияние электролитов на устойчивость нефтезагрязненных эмульсий. На первых этапах исследования готовились эмульсии, аналогичные сточным водам нефтеперерабатывающих предприятий. В данные образцы добавлялись растворы электролитов. Параллельно готовились эмульсии с точно заданной концентрацией, которые использовались для построения калибровочных графиков зависимости концентрации нефтепродукта и оптической плотности. Во всех последующих опытах для определения содержания нефтезагрязнений использовался экспресс-метод анализа, разработанный на кафедре «Физическая и аналитическая химия» МГОУ (ныне МПУ) и нашедший широкое применение. Метод основан на измерении оптической плотности, по которой с помощью калибровочных графиков определялась концентрация. Особенность метода в том, что капельки нефтепродуктов окрашиваются красителем, который не растворяется в воде, например, Судан III [3].

Следующим этапом было создание активного гидродинамического режима, путем барботаж эмульсии воздухом, методом пневмосепарации. На протяжении всего процесса отбирались пробы, измерялась оптическая плотность и по графикам определялась концентрация нефтепродукта, до момента ее неизменного состояния. Также анализировалось изменение реакции среды и влияние электролитов на свойства эмульсий, ее стабильность. Анализ данных, полученных на всех этапах исследования, позволил построить калибровочные графики (рис.1 и 2), которые можно использовать в дальнейших исследованиях, выявить влияние электролитов на стабильность эмульсий, моделирующих сточные воды (рис.3 и 4).

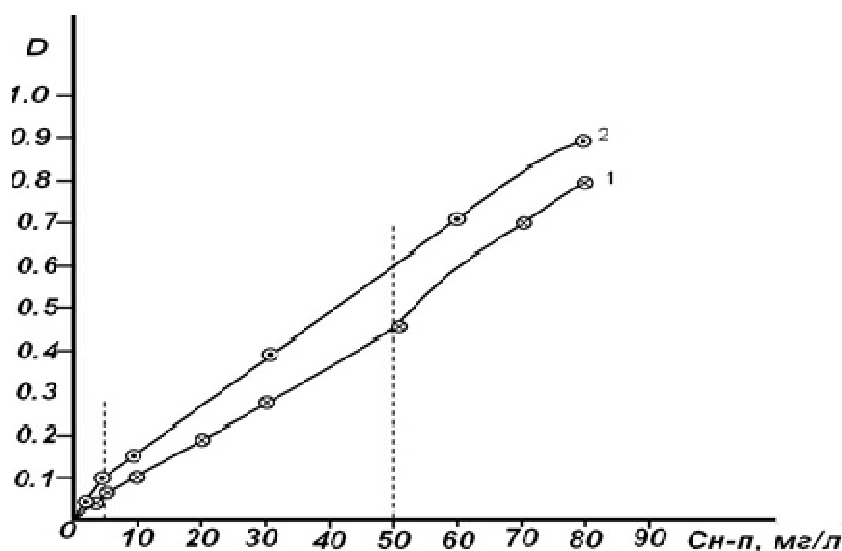


Рис. 1. Зависимость оптической плотности эмульсий от концентрации нефтепродукта (Сн-п)
1– бензин, 2 – мазут

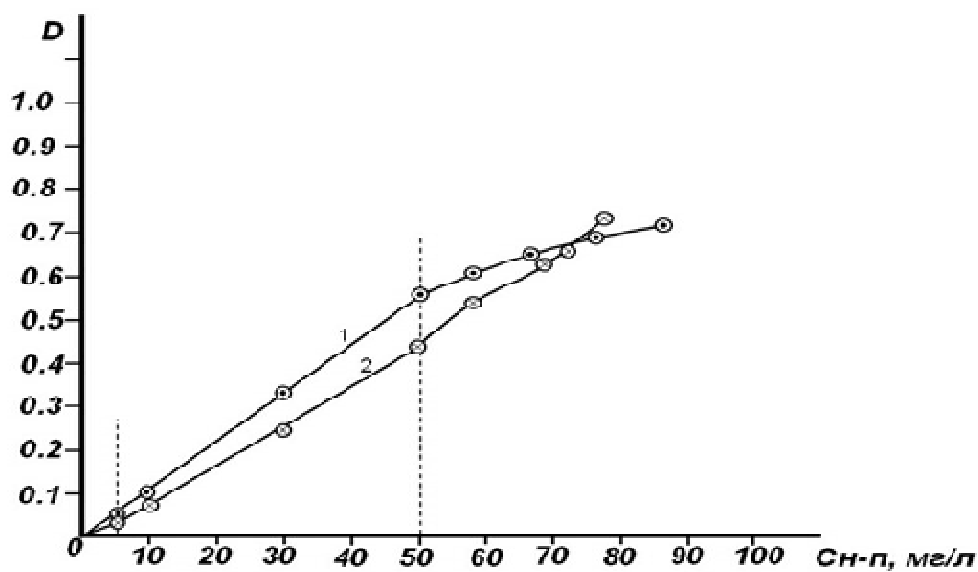


Рис. 2. Зависимость оптической плотности эмульсий от концентрации нефтепродукта (Сн-п)
1 – компрессорное масло, 2 – промышленное масло И-5А

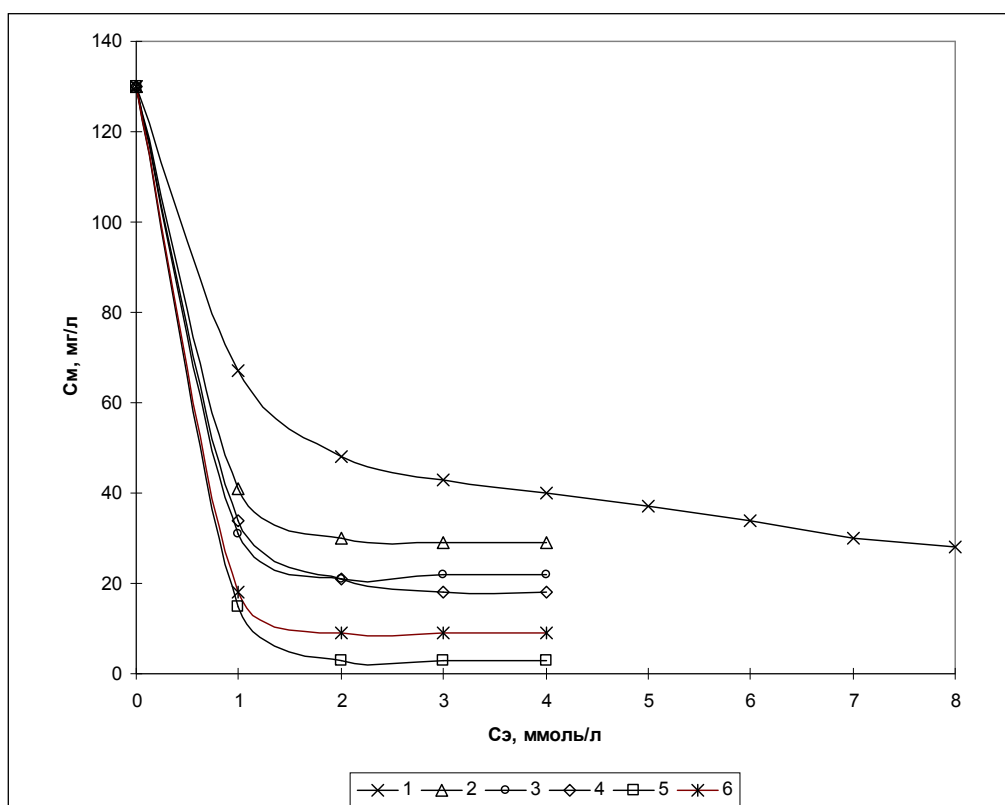


Рис. 3. Зависимость содержания нефтепродукта от электролитов
1 – NaOH; 2 – MgCl₂; 3 – CaSO₄; 4 – AlCl₃; 5 – CaCl₂; 6 – Ca(OH)₂.

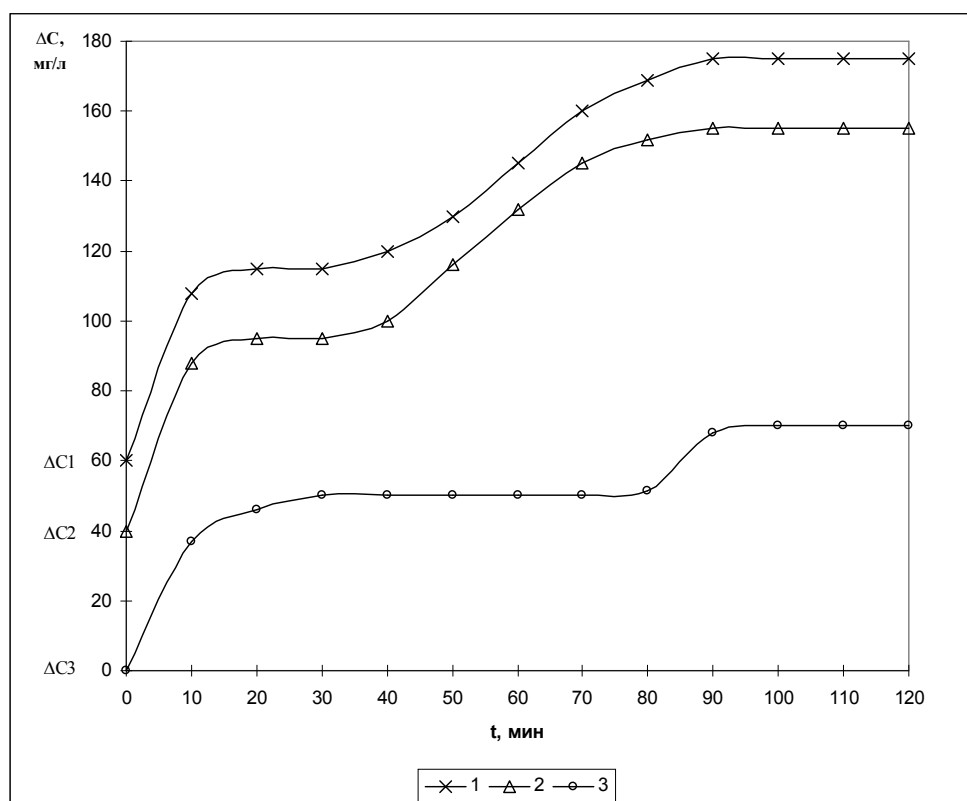


Рис. 4. Зависимость концентрации нефтепродукта от времени при:
1 – CaCl_2 , 2 – $\text{Ca}(\text{OH})_2$, 3 – NaCl .

Проведенные экспериментальные исследования позволяют сделать следующие выводы:

1. Электролиты, снижают ζ -потенциал эмульсионных систем.
2. В присутствии электролитов повышается степень удаления нефтепродуктов в процессе пневмосепарации [2].
3. Максимальный эффект достигается гидроксидом и хлоридом кальция.
4. Возможно достичь $\text{Сн-п} = 4,3$ мг/л.

Библиографический список

1. Гальченко, С. В. Обоснование методики получения устойчивых модельных эмульсий нефтепродуктов, содержащихся в сточных водах / С. В. Гальченко, А. С. Чердакова, Е. В. Воробьева // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2016. – Т. 18. – № 2-2. – С. 318-321.
2. Гальченко, С. В. Обоснование необходимости применения пневмосепарации нефтезагрязненных сточных вод в присутствии гумата калия для их очистки / С. В. Гальченко, А. С. Чердакова, Е. В. Воробьева // Экология и безопасность в техносфере: современные проблемы и пути решения : сборник трудов Всероссийской научно-практической конференции, Томск, 17–19 ноября 2016 года / Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Юргинский технологический институт. – Томск: Национальный исследовательский Томский политехнический университет, 2016. – С. 81-83.
3. Чердакова, А. С. Результаты экспериментальной оценки влияния биопав на процессы микробиологической ремедиации нефтезагрязненных водных сред/ А. С. Чердакова, С. В. Гальченко, Е. В. Воробьева // Вода и экология: проблемы и решения. - 2020г. - №1 (81). - С. 74-83.

УДК 665.753.4; ГРНТИ 61.51.29

ИССЛЕДОВАНИЕ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫХ СВОЙСТВ И СПЕКТРАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ДИЗЕЛЬНОГО ТОПЛИВА

О.Р. Мекаева*, Ж.А. Щербинина**, В.С. Логинов***, М.В. Лызлова****, Т.П. Шуварикина*****

Рязанский государственный радиотехнический университет им. В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань, *olga_mekaeva_0702@mail.ru, **zhanna18092001@gmail.com,
vlad.loginoff@gmail.com, *lyzlova.m.v@rsreu.ru, *****t.golub231@gmail.com

Аннотация. В данной работе приводятся экспериментальные и расчётные методы исследования низкотемпературных и спектральных характеристик дизельного топлива.

Ключевые слова: инфракрасный спектр, коэффициент ароматичности, коэффициент алифатичности, коэффициент разветвленности, арены, нафтенy, алканы.

STUDY OF LOW-TEMPERATURE PROPERTIES AND SPECTRAL CHARACTERISTICS OF DIESEL FUEL

O.R. Mekaeva*, Z.A. Shcherbinina**, V.S. Loginov***, M.V. Lyzlova****, T.P. Shuvarikova*****

* Ryazan State Radio Engineering University,
Ryazan, Russia, *olga_mekaeva_0702@mail.ru, **zhanna18092001@gmail.com,
vlad.loginoff@gmail.com, *lyzlova.m.v@rsreu.ru, *****t.golub231@gmail.com

Abstract. This paper presents experimental and computational methods for studying the low-temperature and spectral characteristics of diesel fuel.

Keywords: infrared spectrum, aromaticity coefficient, aliphatic coefficient, branching coefficient, arenes, naphthenes, alkanes.

В современном мире качество получаемых нефтепродуктов, к которым в том числе относится дизельное топливо, определяется предъявляемыми к ним современными экологическими и эксплуатационными требованиями. Такие факторы как изменение сырьевой базы заводов нефтепереработки, увеличение содержания тяжелых высокосернистых нефтей в общем объеме сырья при переработке, растущие потребности в качественном дизельном топливе, удовлетворяющем особенности эксплуатации двигателей внутреннего сгорания в различных климатических условиях, влечет за собой необходимость широкомасштабного внедрения инновационных процессов их производства.

Одним из важнейших критериев эксплуатационных характеристик дизельных топлив, определяющих функционирование системы питания двигателей в зимний период при отрицательных температурах окружающей среды, является температура застывания. При получении низкозастывающих дизельных топлив используют различные технологии: разделение прямогонных дизельных фракций на легкие и тяжелые с последующей гидроочисткой, применение каталитической депарафинизации и изодепарафинизации, компаундирование с вовлечением депрессорно-диспергирующих присадок и др. Все эти процессы оказывают воздействие на преобразование углеводородного состава фракций, что непременно влечет за собой изменение качественных показателей топлива.

Поэтому на сегодняшний день актуальными считаются исследования по разработке экспресс-методов определения углеводородного состава дизельных топлив с установлением зависимости от него низкотемпературных характеристик дизельных топлив, а также определение углеводородного состава и влияние его на эффективность действия функциональных присадок для корректировки их применения.

Целью настоящей работы является определение температур застывания инструментальным методом и спектральных характеристик дизельных и керосиновых фракций методом ИК-спектроскопии на ИК-Фурье спектрометре «Инфраспект ФСМ 2202» с регистрацией спектров в диапазоне $4000-400\text{ см}^{-1}$ с разрешением 2 см^{-1} .

В ходе работы была определена температура застывания для 12 видов топлив, используемых в качестве дизельного и реактивного топлив. Полученные значения представлены на рисунке 1.

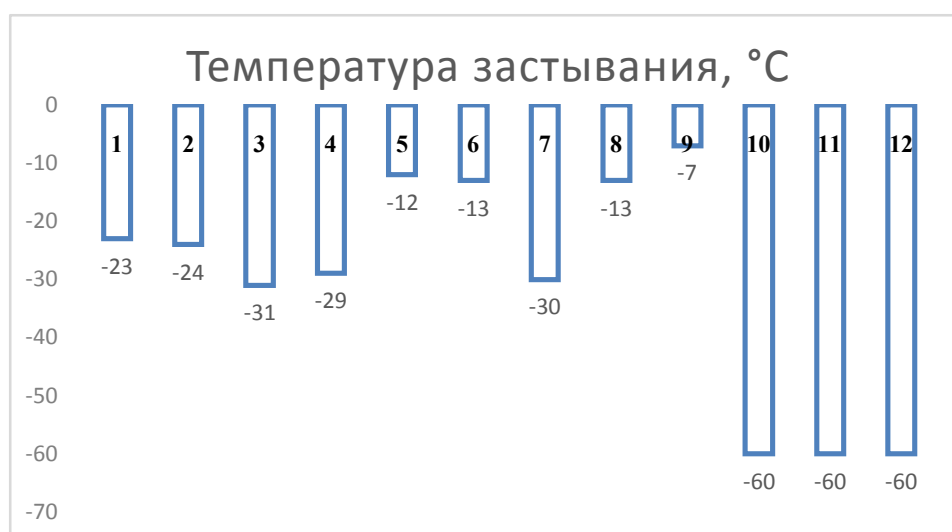


Рис. 1. Температура застывания исследуемых образцов топлив

Температура застывания характеризует температуру образования кристаллического каркаса в объеме, в результате чего парафинистая система полностью теряет подвижность. Как видно из приведенных данных температура изменяется в пределах от -31 до -7 °C для первых девяти образцов и остается неизменной для трех последних образцов -60 °C. Т.к. дизельная и керосиновая фракции не содержат природных ПАВ, а только углеводороды трех классов – парафины, нафтены и арены, процессы кристаллизации будут определяться взаимным соотношением отдельных углеводородов, входящих в данную конкретную фракцию. Для этого в работе использовали метод ИК-спектроскопии, позволяющий определить качественные характеристики углеводородного состава топлив.

В ходе выполнения работы были получены спектры исследуемых дизельных и керосиновых топлив (рисунок 2), на которых были выделены фиксированные точки по соответствующим полосам поглощения и определены интенсивность поглощения и оптическая плотность.

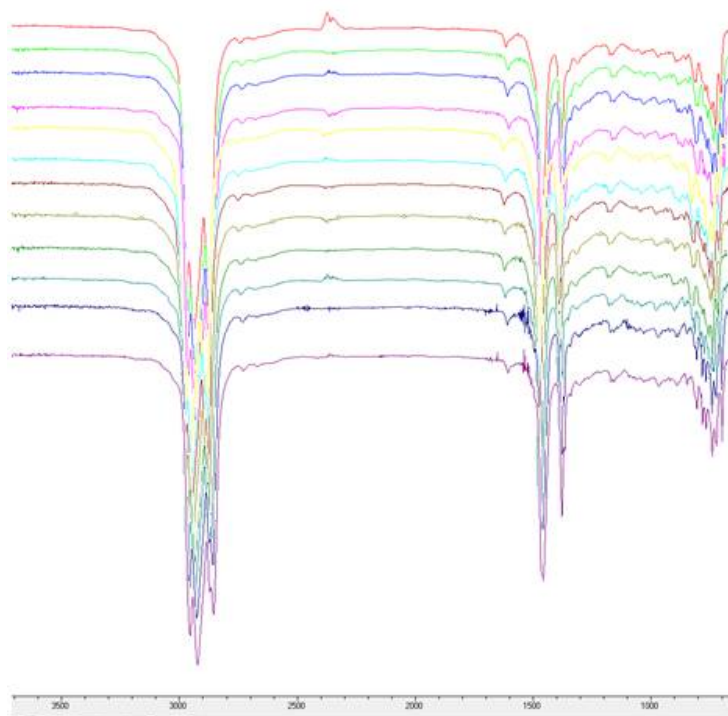


Рис. 2. Спектры образцов

Валентным и деформационным колебаниям углерод-водород (C-H) в метиленовой группе ($-\text{CH}_2$) соответствует область 720 и 1300 см^{-1} характеризующая присутствие неразветвленных парафиновых структур. Валентным и деформационным колебаниями C-H в метильной группе ($-\text{CH}_3$) принадлежит область 1380 и 1464 см^{-1} характеризующая наличие разветвленных парафиновых углеводородов. Валентным колебаниям нафтеновых углеводородов принадлежит область 960 см^{-1} и 1030 см^{-1} . Область $812\text{--}816\text{ см}^{-1}$ и 1600 см^{-1} обусловлена деформационными колебаниями углерод-водород связей (C-H) и валентными колебаниями ароматических углерод-углеродных связей (C=C) в ароматическом кольце.

Групповой углеводородный состав определили по формулам:

$$\% \text{Ал} = \frac{D_{720}}{\Sigma D} * 100 - \text{процентное содержание алканов};$$

$$\% \text{Н} = \frac{D_{1030} + D_{960}}{\Sigma D} * 100 - \text{процентное содержание нафтен};$$

$$\% \text{Ар} = \frac{D_{1600}}{\Sigma D} * 100 - \text{процентное содержание аренов}.$$

Из данных углеводородного состава видно, что все образцы, имеющие низкие температуры застывания (10, 11, 12) незначительно отличаются по углеводородному составу: содержание парафиновых углеводородов варьируется в пределах $24,1 - 25,2\%$, содержание нафтеновых углеводородов – $62,8 - 65,5\%$, ароматических – $11,3 - 11,9\%$. Образцы летнего дизельного топлива с температурой застывания в пределах $-7 - -13\text{ }^{\circ}\text{C}$ (5, 6, 8, 9) имеют практически одинаковое содержание парафинонафтеновых углеводородов, отличаются по содержанию ароматических углеводородов. Меньше всего ароматики содержится в образце с максимальной температурой $-7\text{ }^{\circ}\text{C}$. Групповой углеводородный состав зимних дизельных топлив (1, 2, 3, 4, 7) с температурой застывания $-23 - -31\text{ }^{\circ}\text{C}$ не имеет принципиальных отличий по содержанию парафинов и нафтен от летних топлив. Однако в образце 3 с температурой застывания $-31\text{ }^{\circ}\text{C}$ содержится почти в два раза больше ароматических углеводородов

(21,45 %), чем в образце 7 с температурой застывания – 30 °С и содержанием ароматики (11,23 %).

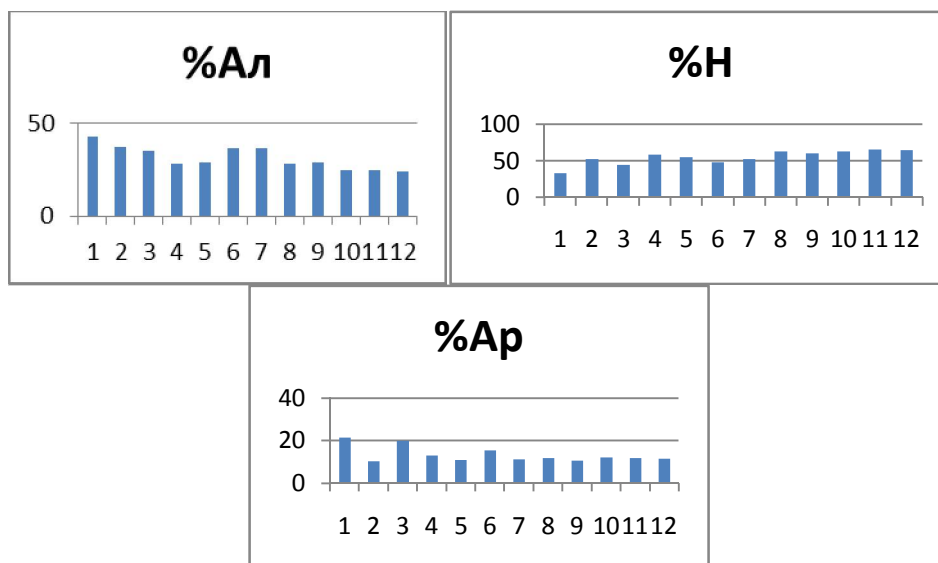


Рис. 3. Углеводородный состав, определенный методом ИКС: содержание парафинов Ал, содержание нафтенос Н, содержание ароматов Ар

Для объяснения различий в низкотемпературных свойствах дизельных топлив помимо углеводородного состава в работе использовали спектральные коэффициенты, которые представляют собой отношение оптических плотностей при определенных длинах волн и рассчитываются по следующим формулам:

$$C_{\text{аром}} = \frac{D_{1600}}{D_{720}} - \text{коэффициент ароматизированности Баттачария};$$

$$C_{\text{алиф}} = \frac{D_{720} + D_{1380}}{D_{1600}} - \text{коэффициент парафинистости (алифатичности)};$$

$$C_{\text{разв}} = \frac{D_{1460}}{D_{720}} - \text{коэффициент разветвленности}.$$

На рисунке 4 представлены рассчитанные спектральные коэффициенты исследованных топливных фракций.

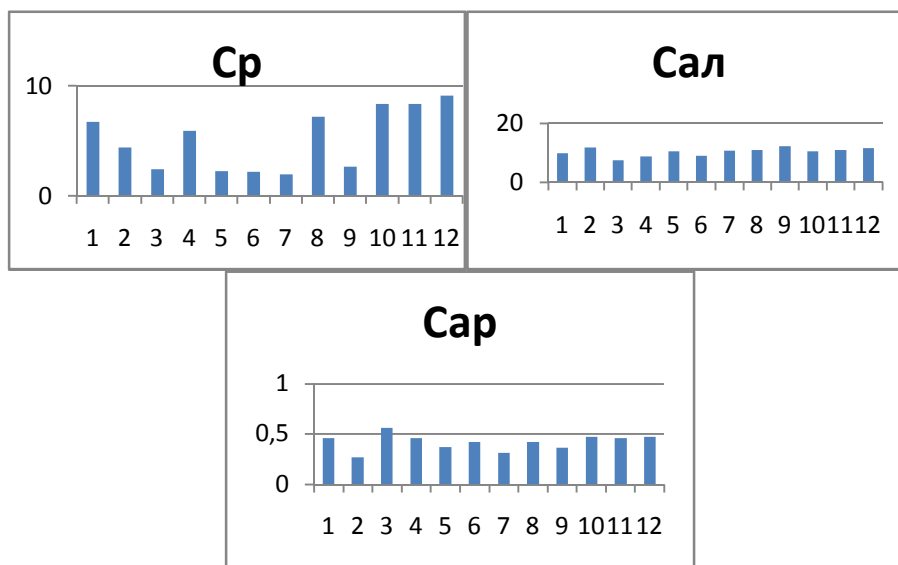


Рис. 4. Спектральные коэффициенты, определенные методом ИКС: коэффициент разветвленности C_r ; коэффициент алифатичности C_{al} ; коэффициент ароматизированности Баттачариа C_{ar} ;

При использовании спектральных коэффициентов для анализа низкотемпературных свойств топлив выбирали образцы с приблизительно одинаковым составом парафинов и нафтен. Рассмотрим близкие по содержанию парафино-нафтенной фракции образцы 4 (Ал28, Н58) и 5 (Ал29, Н55). Для этих топлив наблюдается следующая зависимость: у топлива 4 немного ниже коэффициент алифатичности C_{al} , указывающий на то, что при близкой степени разветвленности алифатические цепи в топливе 4 заметно короче. В то же время в топливе 4 выше коэффициент ароматичности, указывающий на то, что в данном топливе выше доля ароматических структур. Таким образом, большая доля ароматических структур в образце 4 обеспечивает ему лучшие низкотемпературные свойства ($-29\text{ }^{\circ}\text{C}$) по сравнению с образцом 5 ($-12\text{ }^{\circ}\text{C}$).

Для топлив 3 и 6, близких по содержанию парафинафтенной части, видно, что температура застывания ниже у образца 3 ($-31\text{ }^{\circ}\text{C}$). Это объясняется более высокими коэффициентами ароматичности (C_{ar} 0,56) и разветвленности (C_r 2,38), меньшим коэффициентом алифатичности (C_{al}). Следовательно, в данном топливе более короткие и разветвленные углеводородные цепи, и ароматические структуры улучшают его низкотемпературные характеристики.

Таким образом, для топлив, характеризующихся близким содержанием парафинов и нафтен, с помощью метода ИКС можно получать дополнительную информацию по групповому углеводородному составу топлив и определять зависимость между изменением температуры застывания и коэффициентами алифатичности, разветвленности и ароматичности, а также использовать ИК-спектры средней области для создания экспресс-методов определения группового углеводородного состава дизельных топлив, как альтернативу существующему методу высокоэффективной жидкостной хроматографии.

Библиографический список

1. Капустин В.М., Гуреев А.А. Технология переработки нефти в 4 ч: учебники и учебные пособия для студентов высш. учебн. Заведений Часть 2 Физико-химические процессы – М.: Химия, 2015.- 400 с
2. Kovalenko V.V. IR Spectroscopy to Determine the Structural Group Composition of Base Oils 2019/ V.V. Kovalenko, M.V. Lyzlova, V.S. Loginov, G.I. Melnik// 8th Mediterranean Conference On Embedded Computing (MECO) 2019 including 2019, 10-14 June 2019, Budva, Montenegro, с. 370-373
3. Тарасевич Б.Н. Основы ИК спектроскопии с преобразованием Фурье. Подготовка проб в ИК спектроскопии. М.: МГУ им. Ломоносова, 2012. – 22с.

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

СЕКЦИЯ «СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ»

УДК 519.686; ГРНТИ 50.33.39

СИСТЕМА ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ В ОДНОКРИСТАЛЬНОМ МИКРОПРОЦЕССОРЕ

С.В. Скворцов, В.И. Хрюкин

*Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань, s.v.skvor@gmail.com, vi_x@mail.ru*

Аннотация. В работе рассматривается система имитационного моделирования однокристального микропроцессора, предназначенная для разработки и отладки прикладных программ в учебном процессе. Система обеспечивает эмуляцию машинных команд в пошаговом и непрерывном режимах с отображением состояний программно-доступных элементов микропроцессора, а также трансляцию исходных программ с языка ассемблера.

Ключевые слова: микропроцессор, эмуляция, машинный код, регистр, оперативная память, порт ввода-вывода, моделирование, формат команд, кросс-ассемблер.

SIMULATION SYSTEM OF COMPUTING PROCESSES IN A SINGLE-CHIP MICROPROCESSOR

S.V. Skvortsov, V.I. Khryukin

*Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,
Russia, Ryazan, s.v.skvor@gmail.com, vi_x@mail.ru*

The summary. The paper considers a simulation system of a single-chip microprocessor designed for the development and debugging of educational applications. The system provides emulation of machine commands in step-by-step and continuous modes with the display of the states of the software-accessible elements of the microprocessor, and the translation of the source programs from the assembly language.

Keywords: microprocessor, emulation, machine code, register, RAM, input-output port, simulation, instruction format, cross-assembler.

В современных условиях при проектировании микропроцессорных устройств и их программировании возникает необходимость использования машинно-ориентированных языков, непосредственно взаимодействующих с аппаратными средствами. Для разработки и отладки программных модулей общепринятым является использование эмуляторов, которые обеспечивают формирование машинного кода для микропроцессоров различных архитектур на базе инструментальных персональных ЭВМ [1].

Целью работы является создание системы имитационного моделирования вычислительных процессов в учебном однокристальном микропроцессоре, применение которой обеспечивает разработку и отладку машинных программ с эмуляцией процессов их исполнения в непрерывном и пошаговом режимах. Для достижения поставленной цели требуется решить две задачи:

- разработать эмулятор вычислительного устройства на базе учебного однокристального микропроцессора, обеспечивающий имитацию выполнения машинных команд на уров-

не программно-доступных элементов архитектуры, таких как регистры, ячейки оперативной памяти и порты ввода-вывода;

- разработать кросс-ассемблер для входного машинно-ориентированного языка программирования, позволяющий выполнить анализ корректности текста исходной программы и сформировать машинный код, размещаемый в памяти и готовый к исполнению.

Эмулятор вычислительного устройства моделирует исполнение заданной последовательности машинных команд, представленных в 16-ричных кодах, и позволяет работать с оперативной памятью объемом 64 Кбайт и 264 портами ввода-вывода. При разработке машинных программ может использоваться система команд однокристального микропроцессора [2]: команды передачи данных между памятью и регистрами или между регистрами; команды арифметических и логических операций; команды передачи управления; команды управления микропроцессором. На рис. 1 показана схема взаимодействия программных модулей разработанной системы моделирования.

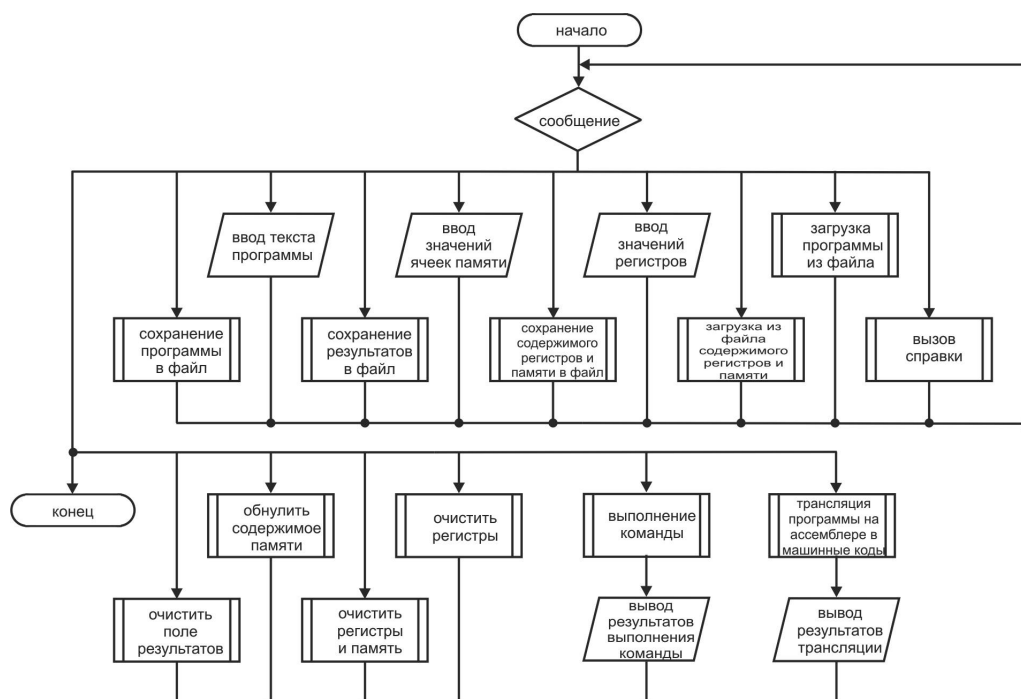


Рис. 1. Программные модули системы моделирования

Эмулятор моделирует выполнение машинных программ в непрерывном или пошаговом режиме с возможностью одновременного контроля за состоянием регистров, ячеек памяти и портов ввода-вывода. Результаты выполнения команд отображаются в соответствующих окнах моделирующей программы [3].

Программно-доступные элементы моделируемого вычислительного устройства отображаются в главном окне разработанной системы, которое показано на рис. 2. Оно включает следующие элементы: системное меню; панель инструментов; таблица регистров микропроцессора; таблица оперативной памяти; таблица портов ввода-вывода; поле редактирования кода; поле вывода результатов трассировки; строка состояния.

Входными данными для системы моделирования является прикладной программный код, написанный на языке ассемблера, или в машинных командах, записываемых в ячейки памяти. При использовании языка ассемблера можно заранее подготовить программу в любом текстовом редакторе и загрузить этот код в эмулятор. Также можно написать программу на языке ассемблера, используя для этого поле «Редактор кода» в главном окне программы.

После запуска системы моделирования появляется главное окно программы и ожидается ввод входных данных при помощи клавиатуры или с машинного носителя информации (из файла). Возможно сохранение текста написанной программы, результатов выполнения программы и отдельных команд, содержимого памяти и регистров. Если для написания программы используется язык ассемблера, то сначала выполняется трансляция программы в машинные коды, а затем осуществляется моделирование выполнения команд в пошаговом или непрерывном режиме.

Для проверки корректности ввода машинных кодов в ячейки памяти в кросс-системе предусмотрена возможность дизассемблирования кода с выводом мнемонического обозначения команды в строке состояния.

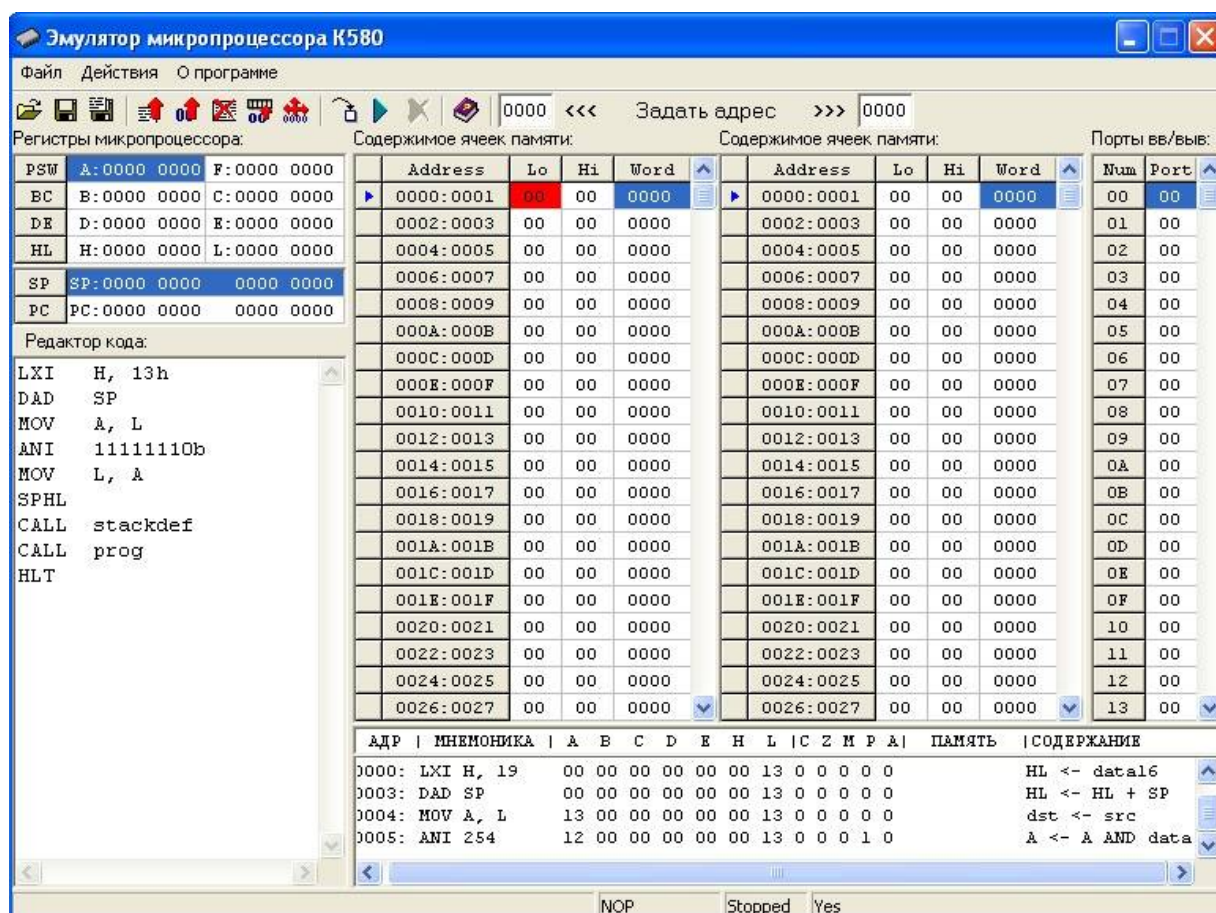


Рис. 2. Программно-доступные элементы микропроцессора

В разработанной программе предусмотрена возможность обращения к справочной системе, содержащей следующие разделы:

- структуры однокристалльного микропроцессора и вычислительного устройства на его основе;
- организация регистров, пространства памяти и пространства ввода-вывода;
- форматы команд и данных, способы адресации данных;
- правила записи программ на языке ассемблера;
- описание системы команд микропроцессора;
- описание работы с эмулятором.

Применение разработанной системы имитационного моделирования позволяет повысить эффективность учебных занятий по соответствующим дисциплинам за счет повыше-

ния наглядности процессов исполнения машинных программ, включая визуальный контроль состояний программно-доступных элементов микропроцессора. Кроме того, представленная система может использоваться для решения научно-практических задач, связанных с разработкой и отладкой прикладных программ, критичных ко времени исполнения и поэтому реализуемых в виде низкоуровневого специализированного программного обеспечения.

Библиографический список

1. Бакулев А.В., Бакулева М.А., Козлов М.А., Скворцов С.В. Технологии разработки параллельных программ для современных многоядерных процессоров // Экономика, статистика и информатика. Вестник УМО. 2014. № 6. С. 211-215.
2. Григорьев В.Л. Программное обеспечение микропроцессорных систем. М.: Энергоатомиздат, 1983. 208 с.
3. Скворцов С.В., Хрюкин В.И. Программа «Эмулятор учебной вычислительной системы на базе однокристального микропроцессора». Свидетельство о регистрации в объединенном фонде электронных ресурсов «Наука и образование» (ОФЭРНиО) № 20430, выдано 23.10.2014.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПЕЧАТНОЙ ПЛАТЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГРАММНОГО МОДУЛЯ PDN ANALYZER

Р.С. Ромашин

*Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань, romashin-roman2013@yandex.ru*

Аннотация. В данной работе рассматривается создание виртуальной модели печатной платы на ОС (Операционная система) Windows с помощью ПО (Программное обеспечение) Altium Designer.

Ключевые слова: Altium Designer, САПР, Печатная плата, Размещение, Трассировка.

DESIGNING A PRINTED CIRCUIT BOARD USING THE PDM ANALYZER SOFTWARE MODULE

R.S. Romashin

*Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,
Russia, Ryazan, romashin-roman2013@yandex.ru*

Annotation. This paper discusses the creation of a virtual PCB model on (Operating System) Windows using Altium Designer (Software).

Keywords: Altium Designer, CAD, PCB, Placement, Routing.

Система автоматизированного проектирования

Вид автоматизированной системы, выполняющей реализацию информационной технологии проектирования. Такая организационно-техническая система, служащая для автоматизации процесса проектирования, обычно состоит из ряда комплексов технических, программных и других средств автоматизации. Для обозначения такого рода систем используется аббревиатура САПР.

Цель САПР сконцентрирована на увеличении продуктивности инженерной деятельности: сокращении трудоемкости и сроков проектирования, обеспечении высокого уровня качества проектных решений и выпускаемой документации, минимизации натурного моделирования и испытаний опытных моделей, снижении затрат на подготовку производства.

Печатная плата (printed circuit board, PCB) — диэлектрическая пластина, в объеме ил на поверхности, которой сформированы электропроводящие цепи электронной схемы. Она предназначена для соединения различных электронных компонентов. Компоненты на печатной плате соединяются своими выводами с элементами проводящего рисунка.

Цикл автоматизированного проектирования электронных устройств включает следующие этапы:

- Разработка принципиальной электрической схемы (ЭЗ) устройства.
- Цифроаналоговое моделирование схемы устройства.
- Размещение компонентов и внешних соединительных разъемов на печатной плате. Оптимизация алгоритма размещения компонентов с целью минимизации длин проводников для обеспечения равномерного теплового рассеивания, создания электромагнитной среды без вреда для передачи сигналов.
- Трассировка соединений между имеющимися выводами размещенных компонентов в соответствии с установленными правилами проектирования, учитывающими ограничения на ширину соединений, минимально допустимые зазоры с другими элементами печатного монтажа, обеспечения требований быстродействия и помехозащищенности.
- Контроль печатного монтажа на соответствие исходной схеме и технологическим ограничениям производства.
- Выпуск конструкторской и производственной документации.

Сквозное автоматизированное проектирование

Принцип сквозного проектирования осуществляется путём передачи результатов предыдущего этапа проектирования на следующий в единой проектной среде. Изменения, вносимые на любом этапе, должны отображаться во всех частях проекта. Одной из современных систем сквозного САПР, решающих задачи конструкторского проектирования РЭА, является Altium Designer.

Широкое внедрение РЭА в различных отраслях, а также ускорение темпов развития науки и техники привели к росту требований, предъявляемых к разрабатываемым изделиям, и усложнению их конструкций, что увеличивает сроки проектирования [1].

Особенности новых изделий РЭА сделали процесс разработки сложным и трудоемким. Классические методы и средства «неавтоматизированного проектирования» уже не могут обеспечить качественное и быстрое создание новых изделий.

Перенос принципиальной схемы в электронную среду программы

Процесс проектирования начнём с переноса существующей схемы в электронный вид. Благодаря интуитивно понятному интерфейсу современных САПР с этой задачей может справиться и неподготовленный пользователь.

В среде Altium Designer потребуется создать новый проект «схема». Появится пустое окно, в котором мы можем работать.

При создании принципиальной электрической схемы в программе Altium Designer используем имеющуюся библиотеку элементов, или создаём собственные библиотеки, если элементов с требуемыми параметрами нет в стандартных (рис. 1).

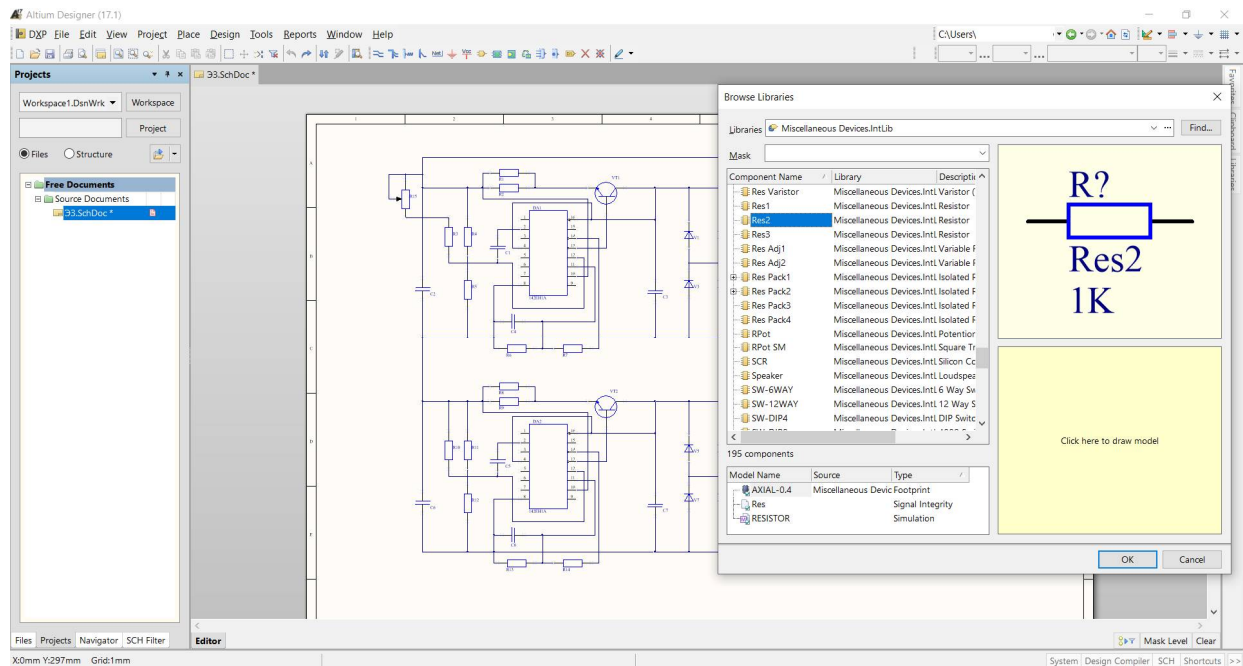


Рис. 1. Принципиальная схема

Когда мы убеждены в полноте и правильности нашей схемы, пора переносить её на виртуальную плату. Для начала эту плату нам нужно создать внутри нашего проекта. После чего ищем сверху пункт меню Design и выбираем там Update PCB document. В появившемся окне нужно нажать на Validate Changes и затем на Execute Changes. Этими командами мы добьёмся переноса всех элементов в окно с пустой печатной платой [2].

Размещение элементов и трассировка

На данном этапе мы меняем габаритные размеры печатной платы под необходимые нам параметры (рис. 2). Фигура платы также может быть любой. Разместить элементы на плату не составит труда. Можем воспользоваться авторазмещением или сделать это самостоятельно.

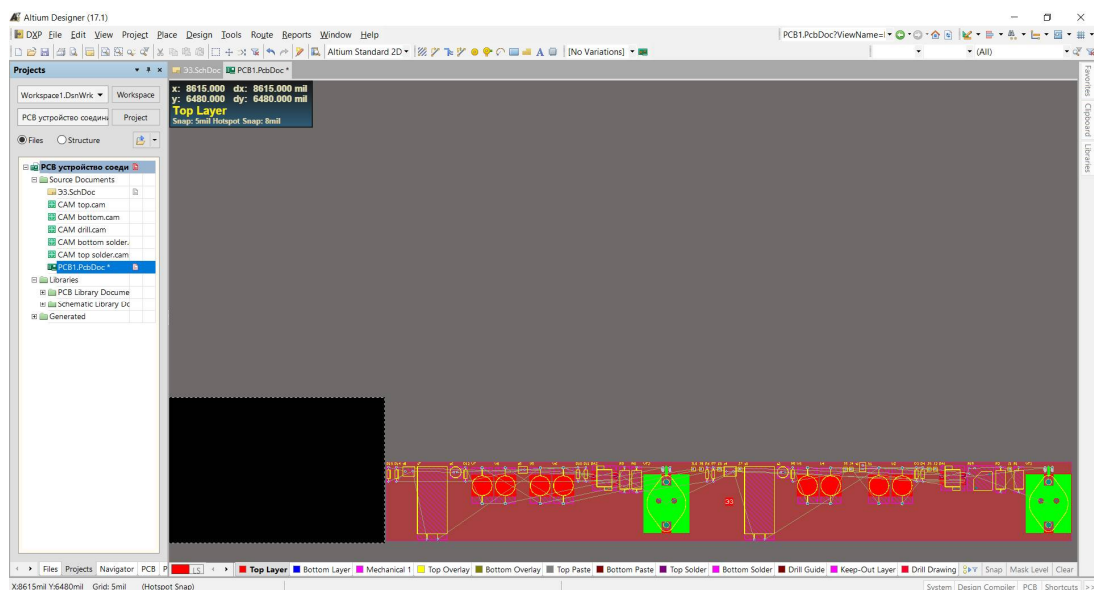


Рис. 2. Создание платы с элементами

После успешного размещения элементов на плате самое время приступить к трассировке. Её также можно выполнить автоматически или вручную. В обоих случаях мы можем задавать значения толщины проводников, расстояний между проводниками и тд.

Проектирование топологии платы

Эффективность работы современных цифровых высокоскоростных узлов электронной техники в значительной степени зависит от топологии электрических цепей. Программный модуль PDN Analyzer, разработанный компанией Altium с применением математических алгоритмов компании CST, предназначен для моделирования цепей питания. PDN Analyzer позволяет инженеру построить модель цепей питания на основе списка связей, действительной топологии печатной платы и её технологических параметров, а также знаний о характеристиках электронных компонентов и их рабочих режимах и выполнить исследование характеристик построенной модели.

Одной из задач проектирования печатной платы для современного высокоскоростного цифрового узла является обеспечение минимально возможного значения полного сопротивления ZPDS цепей питания и заземления. Расчёт токов в слоях питания многослойных печатных плат (МПП) является нетривиальной задачей, а с учётом большого количества межслойных переходов и разделения цепей питания на домены сложной формы – практически невыполнимой без привлечения специальных технических средств.

Результатами некорректно разработанной топологии цепей питания могут являться:

- чрезмерное падение напряжения питания в моменты пиковых токов потребления, что приводит к появлению нестабильности формирования сигналов микросхемами;
- снижение надёжности печатной платы и изменение её электрических характеристик: изменение проводимости вследствие обугливания органических материалов печатной платы, ухудшение частотных характеристик вследствие деформации и расслоения, вызванных перегревом проводников, термоциклическое разрушение межслойных переходов, отслоение печатных проводников, плавление проводников;
- появление шумов в сигнальных цепях, наводимых цепями питания;
- появление сверхнормативного электромагнитного излучения, создаваемого функциональными частями цепей питания.

Решение первых двух проблем относят к задачам обеспечения целостности питания по постоянному току.

Программный модуль PDN Analyzer позволяет инженеру построить модель цепей питания проектируемого устройства и выполнить расчёт токовых нагрузок на элементы топологии печатной платы. Результаты моделирования представляют собой цветную шкалу, наложенную на рисунок топологии печатной платы и описывающую двухмерное распределение плотности тока или разности электрических потенциалов в проводниках. PDN Analyzer позволяет выполнять:

- одновременное моделирование нескольких вариантов эквивалентной схемы замещения цепей питания;
- анализ многосегментной модели цепей питания;
- анализ плотности тока и падения напряжения в проводниках цепей питания;
- анализ предельного допустимого тока для контактных площадок выводов элементов и переходных отверстий межслойных переходов;
- экспертизу нарушений граничных условий, определённых пользователем;
- визуализацию результатов моделирования в двух- и трёхмерном представлении;
- сохранение и загрузку модели цепей питания;

– формирование подробного отчёта в формате HTML. PDN Analyzer использует для своей работы информацию о перечне компонентов моделируемого устройства, списке цепей, рисунке топологии, структуре слоёв, загружая эти сведения из файла печатной платы. При этом в расчётах учитывается толщина меди. Дополнительно пользователь должен ввести информацию о технологических параметрах печатной платы, структуре цепей питания, токах потребления и электрических характеристиках электронных компонентов.

Таким образом, наиболее трудоёмкие части задачи сбора сведений реализуются системой, а пользователю предоставляется творческая часть работы – описание модели цепей питания.

Пример анализа целостности питания по постоянному току

Проиллюстрируем возможности программы двумя практическими примерами. В первом примере демонстрируется точность расчётов, выполняемых PDN Analyzer при работе с многослойной печатной платой (рис. 3). Информация о МПП извлекается из стека слоёв.

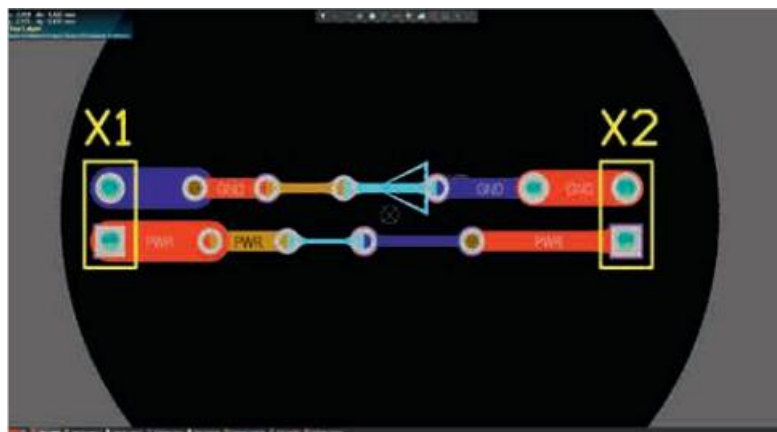


Рис. 3. Демонстрационная МПП в двухмерном виде

Источником постоянного напряжения 5 В служит соединитель X1, а потребителем тока – соединитель X2 с током нагрузки 1 А (рис. 4).

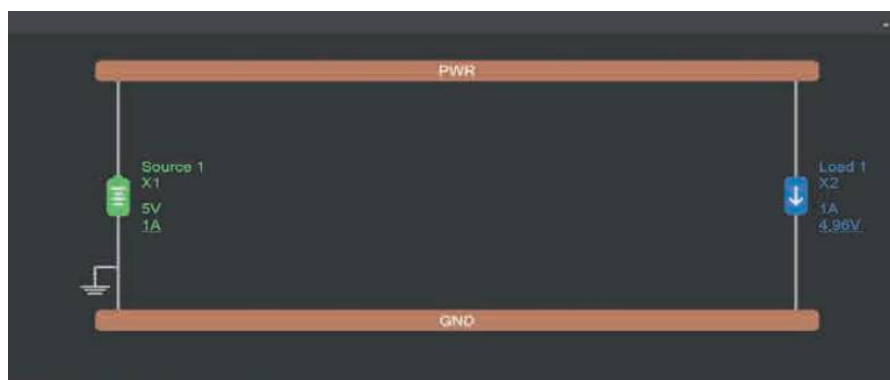


Рис. 4. Структурная схема цепи питания

Сравним аналитический расчёт плотности тока с результатами симуляции. Плотность тока вычисляется по формуле:

$$J = \frac{I}{w \times d},$$

где I – ток;
 w – ширина проводника;
 d – толщина слоя меди.

Характеристики участков цепей и результаты аналитического расчёта приведены в таблице 1.

Таблица 1. Характеристики участков цепей и результаты аналитического расчёта

Номер участка	Ширина проводника, мм	Наименование слоя	Толщина меди, мм	Плотность тока, А/мм ²
1	2	Top Layer	0,035	14,29
2	1	Signal Layer 1	0,05	20
3	0,25	Signal Layer 2	0,05	80
4	0,5	Bottom Layer	0,035	57,14
5	1	Top Layer	0,035	28,57

Результаты расчёта плотности тока с помощью PDN Analyzer на тех же участках цепей приведены на рисунках 5-9, точки измерения отмечены круговым маркером.



Рис. 5. Результаты вычисления плотности тока на первом участке

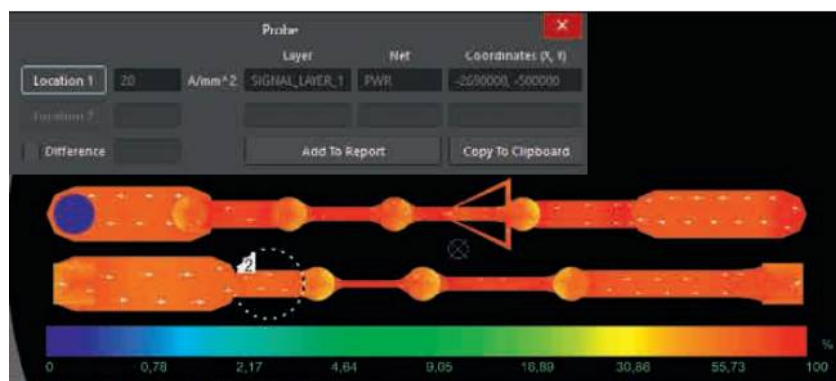


Рис. 6. Результаты вычисления плотности тока на втором участке

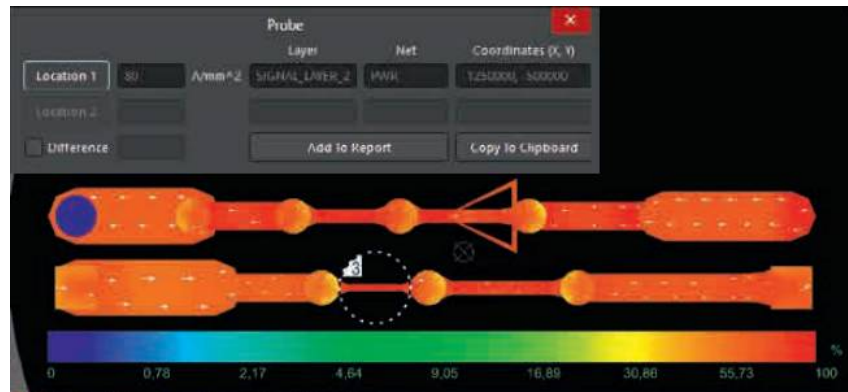


Рис. 7. Результаты вычисления плотности тока на третьем участке

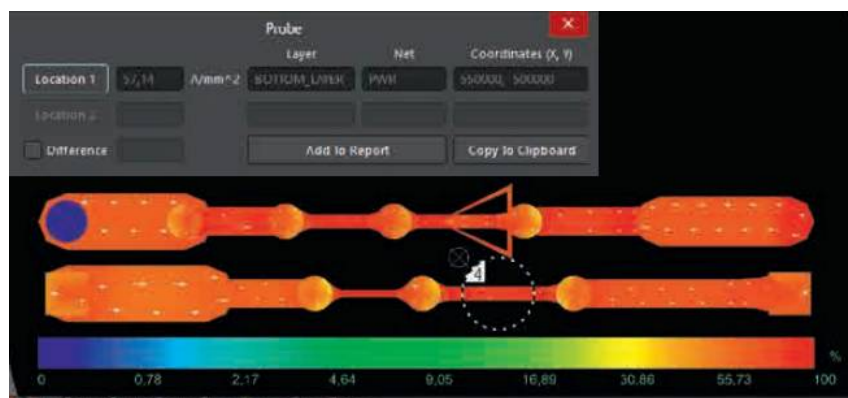


Рис. 8. Результаты вычисления плотности тока на четвертом участке

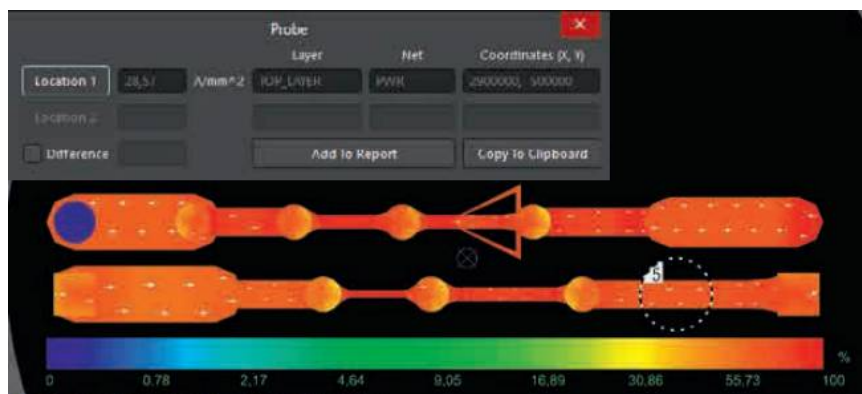


Рис. 9. Результаты вычисления плотности тока на пятом участке

При этом для каждого участка точка измерения выбиралась в стационарной точке функции распределения плотности тока по проводнику. Легко заметить, что результаты аналитического расчёта и расчёта в PDN Analyzer хорошо согласуются между собой.

Математическое ядро PDN Analyzer корректно выполняет вычисление плотности тока для двух параллельных участков. В качестве проверки данного утверждения выполним расчёт полного тока для топологического рисунка, содержащего два параллельных участка для протекания тока, исходя из сведений о плотности тока в каждом из двух параллельных участков, по формуле:

$$I = J_1 \times w_1 \times d_1 + J_2 \times w_2 \times d_2,$$

где J_1 – плотность тока на первом участке;
 w_1 – ширина проводника на первом участке;
 d_1 – толщина проводящего слоя на первом участке;
 J_2 – плотность тока на втором участке;
 w_2 – ширина проводника на втором участке;
 d_2 – толщина проводящего слоя на втором участке.



Рис. 10. Результат моделирования цепи питания с параллельными участками протекания тока

Воспользуемся вычисленными значениями плотности тока (см. рис. 9), сведениями из стека слоёв и сведениями о ширине проводников $w_1 = w_2 = 0,25$ мм. Вычисленное значение полного тока составляет:

$$I = 0,302925 + 0,697125 = 1,00005 \text{ A.}$$

Полученный результат согласуется с фактическим значением полного тока цепи 1 А. Таким образом, программный модуль PDN Analyzer способен эффективно работать с участками топологии разных форм.

3D представление печатной платы

Altium Designer имеет возможность реалистичного представления объектов. Для этого нужно лишь присвоить имеющимся элементам заранее подготовленные модели.

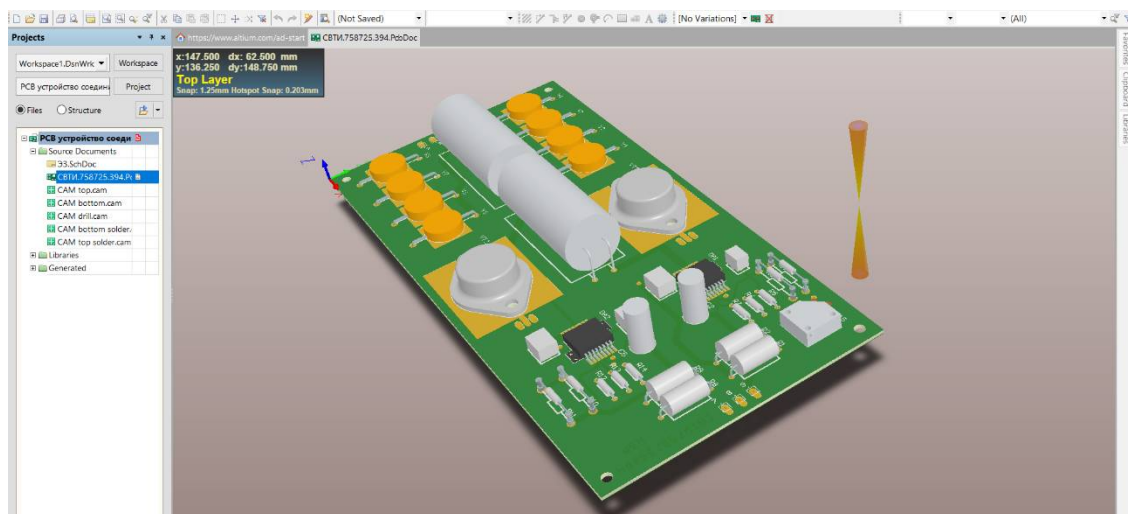


Рис. 11. 3D модель печатной платы

Библиографический список

1. Алексеев, О.В. Автоматизация проектирования радиоэлектронных средств / О.В. Алексеев, А.А. Головкин, И.Ю. Пивоваров и др. – М.: Высшая школа, 2000. – 479 с.
2. САПР для машиностроения и промышленного производства // Электротехника и электроника. Altium Designer

УД 004.66; ГРНТИ 55.13

ИНФОРМАЦИОННО-ЛОГИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ КОНСТРУИРОВАНИИ УСТАНОВКИ ПОКРЫТИЯ НАСЫПЬЮ

М.А. Матрохин

Тамбовский государственный технический университет
Российская Федерация, Тамбов, snakerm@yandex.ru

Аннотация. В работе рассматривается структура процессов и оборудования для установки покрытия насыпью в зависимости от процессов покрытия. Выведены правила выбора материалов для корпуса установки покрытия насыпью, а так же для дополнительно оборудования.

Ключевые слова: установка покрытия, правила выбора, покрытия, процессы.

INFORMATION AND LOGICAL MODEL OF DECISION SUPPORT IN THE DESIGN OF THE COATING INSTALLATION IN BULK

M.A. Matrohin

Tambov State Technical University
Russia, Tambov, snakerm@yandex.ru

The summary. The paper considers the structure of processes and equipment for installing bulk coating depending on the coating processes. The rules for the selection of materials for the bulk coating installation housing, as well as for additional equipment, are derived.

Keywords: coating installation, selection rules, coatings, processes.

Основной задачей при разработке гальванической установки покрытия деталей в насыпном виде является выбор и качество материалов из которых изготавливается оборудование. Материал должен обеспечить коррозионную стойкость, долговечность изделия, а также иметь относительно невысокую стоимость. Комплектующие изделия так же должны обеспечивать качество покрываемых деталей, а так же быть стойкими к агрессивным средам растворов используемых при покрытии.

Основные процессы проводимые в установке покрытия насыпью являются: кадмирование, серебрение, цинкование, латунирование и латунирование.

В таблице 1 приведены процессы покрытия и стойкости материалов, используемых при изготовлении установки.

Таблица 1. Процессы покрытия и стойкости материалов, используемых при изготовлении установки

Процесс покрытия	Материал корпуса установки		Нагрев (материал)	Охлаждение (материал)
	Нержавеющая сталь	Полипропилен		
Кадмирование	+	+	Ст3, 12X18H10T	Ст3, 12X18H10T
Цинкование	+	+	Ст3, 12X18H10T	Ст3, 12X18H10T
Серебрение	+	+	-	-
Латунирование	+	+	12X18H10T	12X18H10T
Никелирование	-	+	титан	титан

Исходя из изложенного, целью настоящей работы является определение оптимальных вариантов выбора комплектующих элементов для установки покрытия деталей насыпью [7].

На рисунке 1 представлена структура процессов покрытия и выбираемого навесного оборудования.

Структура содержит комбинации оборудования для установки покрытия насыпью в зависимости от процессов проходящих в установке.

Для поиска оптимальной конструкции установки покрытия насыпью, а также материалов навесного оборудования, необходимо подобрать ряд правил [1], позволяющих выбирать дополнительные компоненты:

1) ряд правила, при помощи которых необходимо определить наличие узлов в проектируемой установке покрытия насыпью. Данные правила позволяют осуществить поиск по узлам "И" и сгенерировать структуру комплекса;

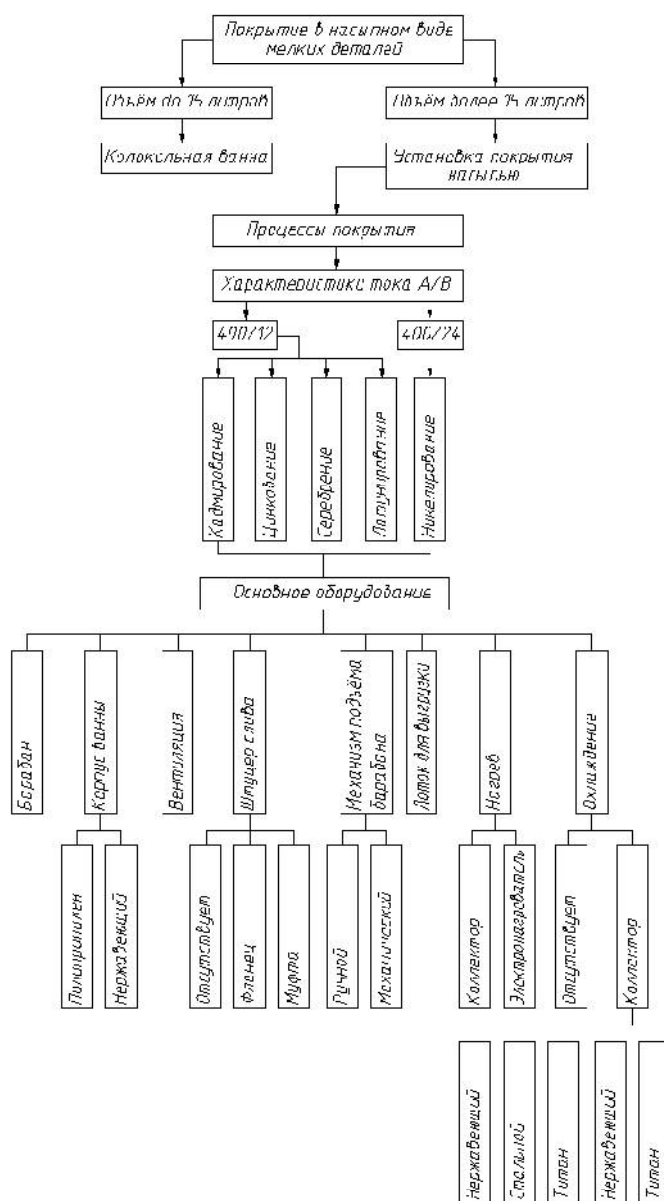


Рис. 1. Структура процессов и оборудования

2) правила, позволяющие определить тип дополнительного узла, входящего в установку. Эти правила позволят осуществить поиск по узлам "ИЛИ" [4].

Конкретный вид правил рассмотрим на следующих примерах:

а) правила выбора вида установки:

- если («объём» ≤ 15 литров и «масса деталей» ≤ 20 кг), то ванна колокольная;
- если («объём» > 15 литров и «масса деталей» > 20 кг), то установка покрытия насыпью;

б) правила выбора перфорации барабана:

- если («размер деталей» $\leq 3,5$ мм), то размер перфорации 1,0х1,0 мм;
- если («размер деталей» $\geq 3,5$ мм), то размер перфорации 3,0х3,0 мм;
- если («размер деталей» $\geq 6,0$ мм), то размер перфорации 5,0х5,0 мм;

Основными параметрами обеспечения конструкции установки покрытия насыпью являются, материал корпуса установки, и в зависимости от процесса выбор материалов погружных элементов;

Правила выбора материала, из которого состоит корпус ванны и навесное оборудование:

- если процесс «никелирования» то выбирается корпус из нержавеющей стали, если остальные процессы «кадмирования, цинкования, серебрения, латунирования» используется как полипропилен, так и нержавеющая сталь, данный выбор зависит только от финансовой составляющей и пожеланий заказчика;

Правила выбора навесного оборудования:

- если «встречная» канализация у заказчика обеспечивается муфтовым соединением, то сливной штуцер устанавливается с муфтовым окончанием, если обеспечивается фланцевым соединением, то устанавливается фланцевый штуцер, если канализация отсутствует, то сливной штуцер отсутствует (откачка раствора происходит при помощи насосных станций);
- выбор привода отталкивается от цены установки покрытия насыпью, а также технического задания на основе требований заказчика;
- выбор вида нагрева (паровой или электронагреватель) основывается на техническом задании по требованиям заказчика;
- выбор материала электронагревателей и парового коллектора основывается на техническом задании на основе требований заказчика. Качество и долговечность будет зависеть от выбранного материала (нержавеющая сталь, углеродистая сталь, титан).
- если процесс «серебрения, никелирования, латунирования», то коллектор охлаждения не устанавливается, если процесс «цинкования, кадмирования» материал коллектора охлаждения используется из нержавеющей стали или титана.

Основным требованием к качественному и годному покрытию гальванизации является ток выпрямительного агрегата:

- если процесс «никелирования», то выбирается выпрямитель на 24 В, если остальные процессы «кадмирования, цинкования, серебрения, латунирования» выбирается выпрямитель тока на 12 В.

Таким образом, разработана структура и алгоритм для создания электронной модели [2] установки покрытия насыпью, применительно к гальваническим покрытиям мелких деталей, включающей в свой состав дополнительное навесное оборудование, реализующее стадии покрытия.

Геометрическая параметрическая модель установки

Для визуализации графического образа установки покрытия насыпью была создана модель в системе SolidWorks. Основные узлы и оборудование подобраны на основе «правил выбора», и разработаны с учетом их требований [6].

На примере процесса цинкования выбор материала корпуса был остановлен на термопластичном полимерном материале – полипропилене.

Защитные кожуха и устройство барботажа выполнены из полипропилена, исходя из стойкости материала к среде раствора [5].

Все эти материалы объединяет более лёгкая механическая обработка, по сравнению с металлами, а также диэлектрической способностью, что исключает защиту внутреннего корпуса емкости (ванны, установки) материалов не проводящим ток.

На рисунке 2 изображена установка покрытия мелких деталей насыпью [3].

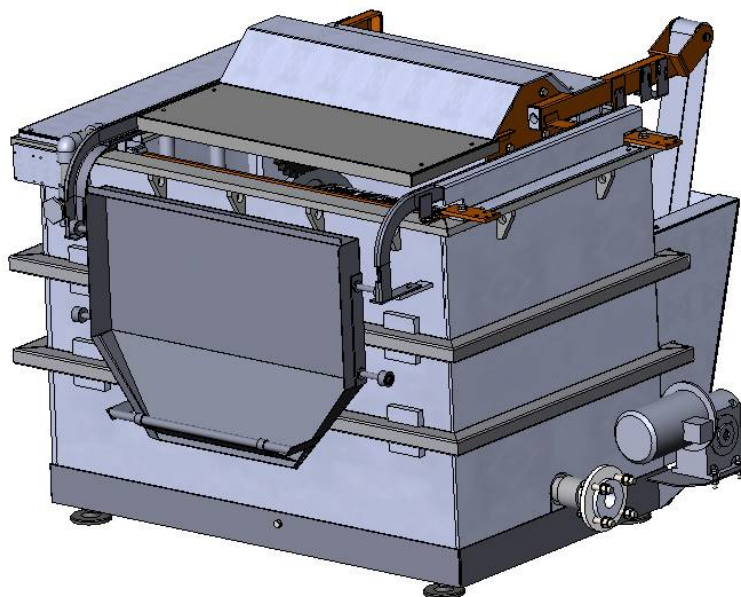


Рис. 2. Установка покрытия мелких деталей

Библиографический список

1. Немтинов В.А. Методы и алгоритмы создания виртуальных моделей химико-технологических схем: Монография (монография). / В.А. Немтинов, С.В. Карпушкин, В.Г. Мокрозуб, Ю.В. Немтинова и др. Тамбов: Издательский дом ТГУ им. Г.Р. Державина, 2011. 282 с.
2. Nemtinov V. Analysis of decision-making options in complex technical system design. / Nemtinov V., Zazulya A., Kapustin V., Nemtinova Y. В сборнике: Journal of Physics: Conference Series. 2019. С. 012018.
- 3 Немтинов В. А. Усовершенствование конструкции установки гальванического цинкования мелких деталей чёрных металлов в насыпном виде / В. А. Немтинов, М. А. Матрохин, Ю. В. Немтинова, А. В. Крылов // Вестник ТГТУ. 2020. Том 26. № 3 С. 472-482.
4. Nemtinov V. Automation of the early stages of plating lines design. / Nemtinov V., Bolshakov N., Nemtinova Y. // В сборнике: MATEC Web of Conferences. 2017. С. 01012.
5. Немтинов В. А. Процесс цинкования в установке покрытия насыпью / В.А. Немтинов, А.В. Крылов, М.А. Матрохин, В.В. Храмов // Виртуальное моделирование, прототипирование и промышленный дизайн [Электронный ресурс]: материалы VI Международной научно-практической конференции : в 2 т. / под общ. ред. М. Н. Краснянского ; ФГБОУ ВО «ТГТУ». –Тамбов : Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2019. – Вып. 6. С. 118-122.
6. Немтинов В.А. Разработка электронной модели гальванической системы. / В.А Немтинов, А.А. Родина, Ю.В. Немтинова // Вестник Тамбовского государственного технического университета. 2019. Т. 25. № 4. С. 567-579.
7. Немтинов В.А. О подходе комплексного использования информационных технологий для исследования химико-технологических объектов / В.А. Немтинов, Ю.В. Немтинова, А.А. Пчелинцева, А.М. Манаенков // Вестник компьютерных и информационных технологий. 2013. № 5 (107). С. 28-33.

УДК 681.513.3; ГРНТИ 50.43.15

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРЕДЕЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ИСПЫТАТЕЛЬНОГО СТЕНДА ДЛЯ СИСТЕМЫ СЛЕЖЕНИЯ ЗА ОБЪЕКТОМ

А.Н. Кашеев

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

Аннотация. В работе рассматривается модель испытательного стенда для системы слежения за объектами, из которой аналитически выводятся два основных параметра: угловая скорость и угловое ускорения, а также определяются их предельные значения, которыми должна обладать исследуемая система.

Ключевые слова: испытательный стенд, моделирование, система слежения за объектами.

DETERMINATION OF THE LIMITING CHARACTERISTICS OF THE TEST BENCH FOR THE OBJECT TRACKING SYSTEM

A.N. Kashcheev

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

The summary. The paper considers a model of a test bench for an object tracking system, from which two main parameters are analytically derived: angular velocity and angular acceleration; and their limit values are determined, which the system under study should have.

Keywords: test bench, modeling, object tracking system

Для предварительной оценки качественных характеристик технических систем часто используются испытательные стенды. В частности, для систем слежения за объектами, движущимися с определенными угловыми скоростями ω и ускорениями ε нужно их сопровождение с требуемыми точностью и быстродействием.

В реальных условиях чаще всего встречается ситуация когда объект равномерно и прямолинейно движется со скоростью ϑ перед следящей системой на расстоянии $R_{\min}$ от нее. Поэтому найдем соотношения, связывающие качественные характеристики системы с параметрами объекта.

Рассмотрим модель:

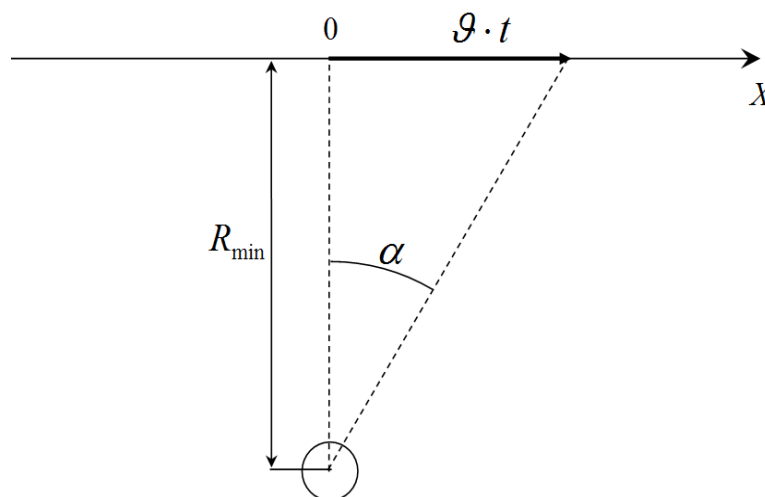


Рис. 1. Геометрическая модель движущегося объекта

Из этой схемы определим угол поворота α :

$$\operatorname{tg}(\alpha) = \frac{\mathcal{G} \cdot t}{R_{\min}}; \quad (1)$$

$$\alpha = \operatorname{arctg}\left(\frac{\mathcal{G} \cdot t}{R_{\min}}\right); \quad (2)$$

где t - время. Для определения угловой скорости ω продифференцируем уравнение (2) по времени, а для углового ускорения ε продифференцируем это же уравнение дважды:

$$\omega = \alpha' = \frac{\mathcal{G} \cdot R_{\min}}{R_{\min}^2 + \mathcal{G}^2 \cdot t^2}; \quad (3)$$

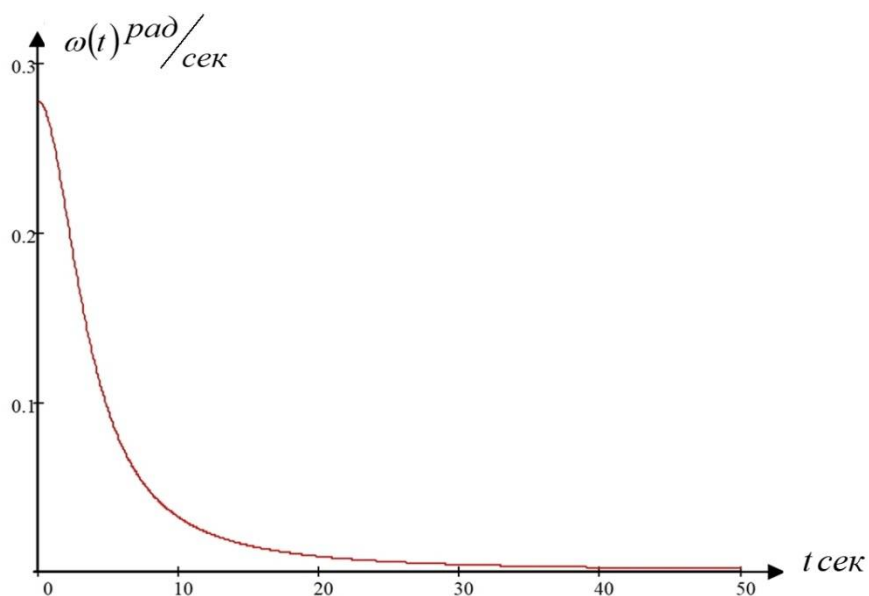


Рис. 2. Зависимость угловой скорости от времени

$$\varepsilon = \alpha'' = -\frac{2R_{\min} \cdot \mathcal{G}^3 \cdot t}{(R_{\min}^2 + \mathcal{G}^2 \cdot t^2)^2}. \quad (4)$$

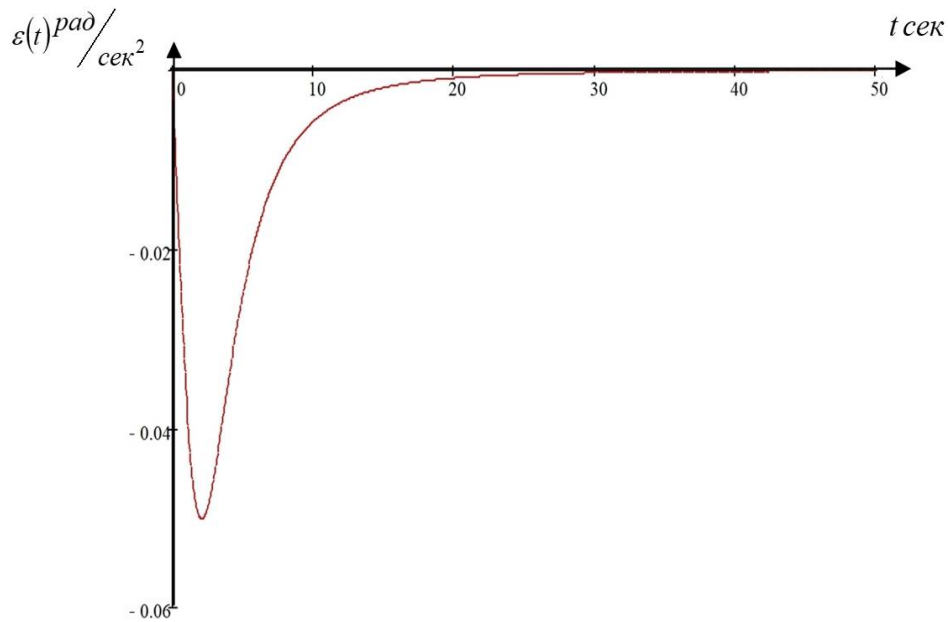


Рис. 3. Зависимость углового ускорения от времени

Полученные функции (3) и (4) являются нелинейными, следовательно, техническая реализация испытательного оборудования с такими характеристиками усложняется. Поэтому, предлагается определить предельные значения угловых скоростей $\Omega_{\max}$ и ускорений $E_{\max}$, а затем воспроизводить их при реализации типовых воздействий в испытательных стендах [2].

Для определения экстремумов ω и ε еще раз продифференцируем функции (3) и (4), а после полученные выражения приравняем к нулю и решим эти уравнения:

$$\omega' = \varepsilon = -\frac{2R_{\min} \cdot g^3 \cdot t}{(R_{\min}^2 + g^2 \cdot t^2)^2};$$

$$-2R_{\min} \cdot g^3 \cdot t = 0; \text{ Решение: } t = 0;$$

$$\Omega_{\max} = \frac{g}{R_{\min}}. \quad (5)$$

$$\varepsilon' = \frac{6R_{\min} \cdot g^5 \cdot t^2 - 2R_{\min}^3 \cdot g^3}{(R_{\min}^2 + g^2 \cdot t^2)^3};$$

$$6R_{\min} \cdot g^5 \cdot t^2 - 2R_{\min}^3 \cdot g^3 = 0; \text{ Решение } t = \pm \frac{R_{\min}}{g\sqrt{3}};$$

$$E_{\min} = -\frac{1,125}{\sqrt{3}} \cdot \left(\frac{g}{R_{\min}}\right)^2 \text{ при } t > 0; \quad E_{\max} = \frac{1,125}{\sqrt{3}} \cdot \left(\frac{g}{R_{\min}}\right)^2 \text{ при } t < 0. \quad (6)$$

В более сложных моделях, когда трудно получить аналитические зависимости, можно использовать методы численного дифференцирования [1].

Численный пример: объект движется поступательно с постоянной скоростью $g = 1000 \left[\frac{км}{ч} \right] = 277, (7) \left[\frac{м}{сек} \right]$, на минимальном расстоянии $R_{\min} = 1000 [м]$ от системы слежения; Используя формулы (5) и (6) получим искомые предельные параметры:

$$\Omega_{\max} = \frac{277, (7)}{1000} = 0,2(7) \left[\frac{рад}{сек} \right];$$

$$|E_{\max}| = \frac{1,125 \cdot 277, (7)^2}{\sqrt{3} \cdot 1000^2} \approx 0,0501 \left[\frac{рад}{сек^2} \right].$$

Результаты моделирования показывают, что для оценки точности и быстродействия системы в экстремальных условиях стенд должен воспроизводить задающие воздействия с максимальными угловыми скоростью $0,2(7) \frac{рад}{сек}$ и ускорение $0,0501 \frac{рад}{сек^2}$.

Пусть испытательный стенд формирует на вход системы гармоническое воздействие:

$$g(t) = g_{\max} \cdot \sin(\omega \cdot t); \quad (7)$$

где $g_{\max}$ - амплитуда. Далее продифференцируем выражение (7) два раза:

$$g'(t) = g_{\max} \cdot \omega \cdot \cos(\omega \cdot t) = \Omega_{\max} \cdot \cos(\omega \cdot t); \quad (8)$$

$$g''(t) = -g_{\max} \cdot \omega^2 \cdot \sin(\omega \cdot t) = -E_{\max} \cdot \sin(\omega \cdot t). \quad (9)$$

После запишем систему и решим ее относительно параметров $g_{\max}$ и ω :

$$\begin{cases} \Omega_{\max} = g_{\max} \cdot \omega \\ E_{\max} = g_{\max} \cdot \omega^2; \end{cases}$$

$$g_{\max} = \frac{\Omega_{\max}^2}{E_{\max}}; \quad (10)$$

$$\omega = \frac{E_{\max}}{\Omega_{\max}}. \quad (11)$$

При помощи формул (10) и (11) можно подобрать эквивалентное гармоническое воздействие для ранее рассмотренного примера:

$$g(t) = 1,54 \cdot \sin(0,18 \cdot t).$$

Таким образом, устройство слежения за целью должно обладать соответствующими характеристиками, для обеспечения заданных требований. Зная эти величины, можно рассчитать соответствующее эквивалентное гармоническое воздействие для поворотной платформы, что позволит существенно упростить конструкцию испытательного стенда.

Библиографический список

1. Демидович Б.П., Марон И.А. Основы вычислительной математики. М.: Гос. изд-во физ.-мат. литературы, 1960. 659 с.
2. Филлипс Ч., Харбор Р. Системы управления с обратной связью. М.: Лаборатория базовых знаний, 2001. 616 с.

УДК 004.896; ГРНТИ 50.51.15

**МУЛЬТИАГЕНТНЫЙ ПОДХОД
АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ
МОДУЛЕЙ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ
НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ИНЖЕНЕРНЫХ СТРАТЕГИЙ**

Д.А. Перепелкин, В.Ю. Ликучев

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

Аннотация. В работе проанализированы инженерные стратегии топологического проектирования модулей радиоэлектронных устройств и предложена интерпретация процедур в контексте мультиагентной модели представления оптимизационной задачи, и в первом приближении предложен мультиагентный подход на основе полученной интерпретации.

Ключевые слова: радиоэлектронные устройства, автоматизация проектирования, топологическое проектирование, размещение компонентов, интеллектуальный агент, мультиагентная система, электрическая схема, функциональный узел.

**MULTIAGENT APPROACH OF AUTOMATED DESIGN
MODULES OF RADIO-ELECTRONIC DEVICES BASED ON ANALYSIS
ENGINEERING STRATEGIES**

D.A. Perepelkin, V.Y. Likuchev

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

The summary. The paper analyzes engineering strategies for topological design of electronic devices modules, proposes an interpretation of procedures in the context of a multi-agent model for the representation of an optimization problem, and, in a first approximation, derives multi-agent approach based on the obtained interpretation.

Keywords: electronic devices, design automation, topological design, component placement, intelligent agent, multi-agent system, electrical circuit, functional unit.

Надежность и качество функционирования электронных модулей во многом зависят от результатов их топологического проектирования, которое включает в себя процедуры размещения радиоэлектронных компонентов на печатной плате и последующую трассировку печатных соединений. В настоящее время разработано множество методов и алгоритмов решения данных задач, реализованных в инструментальных средствах автоматизированного проектирования. Они выполняют оптимизацию по единственному, либо ограниченному набору критериев и характеризуются невысокой временной сложностью.

В практике создания прецизионной аппаратуры (например, измерительных систем или систем автоматизированного контроля), где разработчики предъявляют жесткие требования к конструкции электронных модулей, инженеры, занимающиеся топологическим проектированием, вынуждены выполнять процедуры размещения и трассировки вручную, ограничиваясь лишь инструментарием интерактивного режима среды, то есть заданием набора правил, в случае несоблюдения которых, выдается сообщение об ошибке. Такое «недоверие» к автоматизированным средствам вызвано опять же тем, что они работают по недостаточно-му набору критериев. Результатом выполнения процедур в автоматизированном режиме час-

то является топология, несоответствующая требованиям технического задания, а также другим конструкционным и технологическим требованиям, установленным на предприятии. Ручная корректировка такой топологии может занять время, соизмеримое со временем полного проектирования.

Следующим направлением развития средств автоматизации топологического проектирования является создание методов и алгоритмов на основе мультиагентных систем (МАС). В работе [1] авторами предложена мультиагентная модель задачи размещения компонентов на печатной плате. Согласно модели, система состоит из агентов, между которыми существуют связи и отношения взаимного влияния. Каждый агент (в данном случае – элемент конструкции, компонент) представляется программной сущностью с набором параметров, состав которого определяется конструктивными и функциональными особенностями реального объекта, а также условиями и требованиями задачи. Поведение агента отражается в изменении значений его параметров (например, координат положения в пространстве, угла поворота и т.д.). Агент принимает решения, опираясь на оценку состояний связанных агентов и условий среды в своей окрестности. В результате поведения агентов (преобразований агентных параметров) происходит самоорганизация децентрализованной системы с целью обнаружения своего оптимального состояния, соответствующего экстремуму целевой функции.

Преимущество данной модели состоит в том, что она, во-первых, учитывает множество связей и отношений между агентами, а во-вторых, в отличие от роевых методов, представляет агента не формально, как элемент множества, а как программную сущность с набором признаков и допустимых операций, а саму систему – не как рой примитивных частиц (пространство возможных решений), а как коллектив интеллектуальных агентов. Все это позволяет расширить набор критериев оптимизации.

Один из вариантов методики построения мультиагентных алгоритмов будем основывать на интерпретации процедур ручного проектирования в контексте и формализме вышеописанной модели, то есть представим как операции, выполняемые инженером, выполнялись бы мультиагентной системой. Прodelать такое методологическое преобразование позволяет фундаментальная концепция определения программных агентов как интеллектуальных посредников человека в решении задач.

Рассмотрим процедуру размещения радиоэлектронных компонентов, выполняемую инженером-конструктором в системе Altium Designer. Хотя в Altium Designer присутствуют инструменты автоматического размещения компонентов, возможности их настолько скромны, что профессиональные конструкторы ими не пользуются [2].

Сначала проводится передача схемы в редактор печатных плат. После передачи в окне редактора отображаются посадочные места компонентов, связанные ниточками электрических связей, в порядке, соответствующем расположению условных обозначений компонентов на листах ЭЗ. Этот порядок обычно никоим образом не задает стратегию ручного размещения и для модели его можно определить как хаотичный. Окно графического редактора печатных плат после передачи схемы показано на рисунке 1.

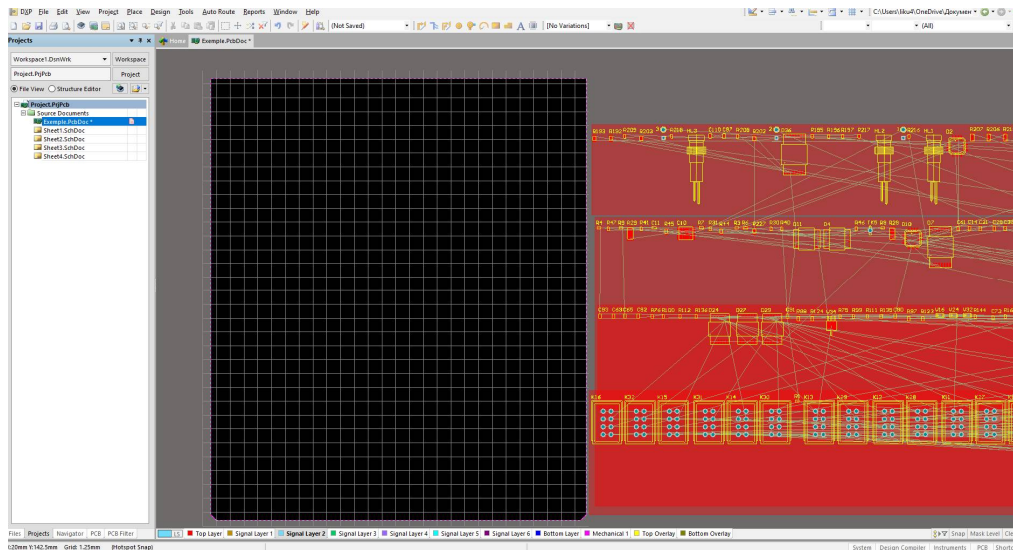


Рис. 1. Редактор печатных плат после передачи электрической схемы

Процедура размещения всегда начинается с расстановки элементов, положение которых закреплено в базовой несущей конструкции, либо однозначно регламентируется техническим заданием на устройство. Такие элементы составляют конструкционный базис печатного узла, а в контексте мультиагентной модели являются статичными агентами, которые не могут изменять свои параметры (в рамках агентной коммуникации они запрещают другим агентам занимать свое место на поле размещения). Классическим примером таких элементов являются электрические разъемы.

Далее выполняется непосредственно размещение незакрепленных компонентов на поле печатной платы. В ходе опроса инженеров конструкторского подразделения, специализирующихся на разводке печатных улов ЭМ1 было выявлено несколько стратегий размещения, которые отличаются единичными операциями и приоритетом учета оптимизационных критериев. Приведем обобщенный порядок процедур для всех рассмотренных инженерных стратегий.

Шаг 1. Выделение функциональных узлов по ЭЗ и их компоновка. Пример фрагмента электрической схемы, изображающей функциональную часть, приведен на рисунке 2.

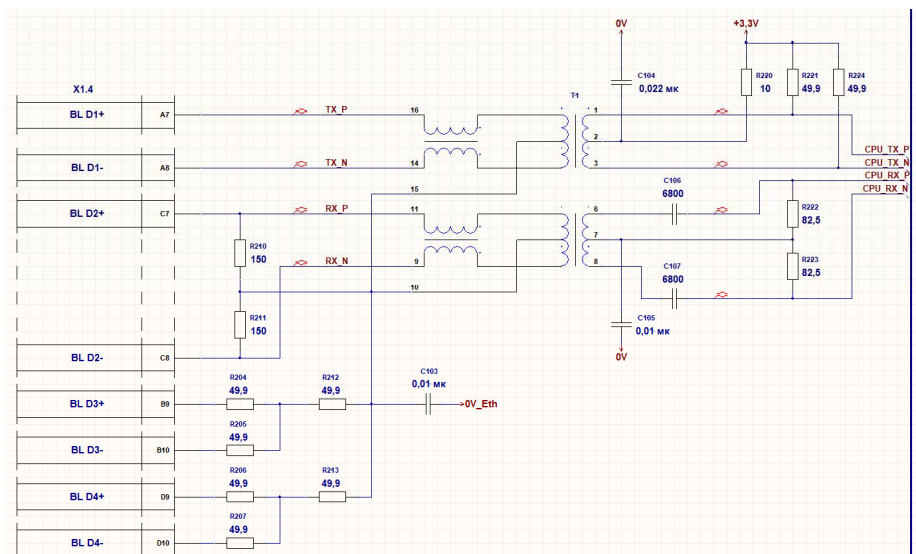


Рис. 2. Фрагмент электрической схемы, изображающий функциональную часть

Выделенная из общего массива группа компонентов, принадлежащих этой функциональной части изображена на рисунке 3.

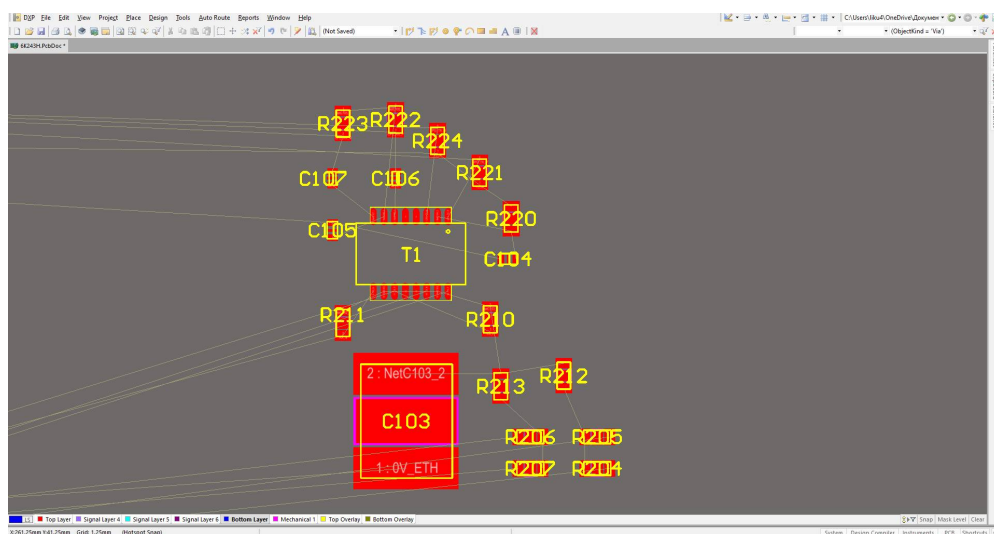


Рис. 3. Выделение функциональной части

Шаг 2. Первичное размещение компонентов в узлах. Оптимизация проводится по следующим критериям:

- минимальное число пересечений связей;
- минимальная длина связей;
- минимальная площадь, занимаемая узлом.

Начиная с этого шага необходимо учитывать стандартные физические требования к размещению некоторых компонентов (например, конденсаторы-фильтры по питанию должны располагаться как можно ближе к соответствующим выводам микросхем), а также требования технического задания на модуль.

Шаг 3. Последовательное размещение узлов на монтажном поле. Здесь учитываются критерии:

- минимальное число пересечений межузловых связей;
- минимальная суммарная длина межузловых связей;
- критерии электромагнитной и тепловой совместимости.

Шаг 4. Корректировка размещения компонентов в узлах «по месту».

Конечный план размещения изображен на рисунке 4 (красным прямоугольником выделена рассматриваемая функциональная часть).

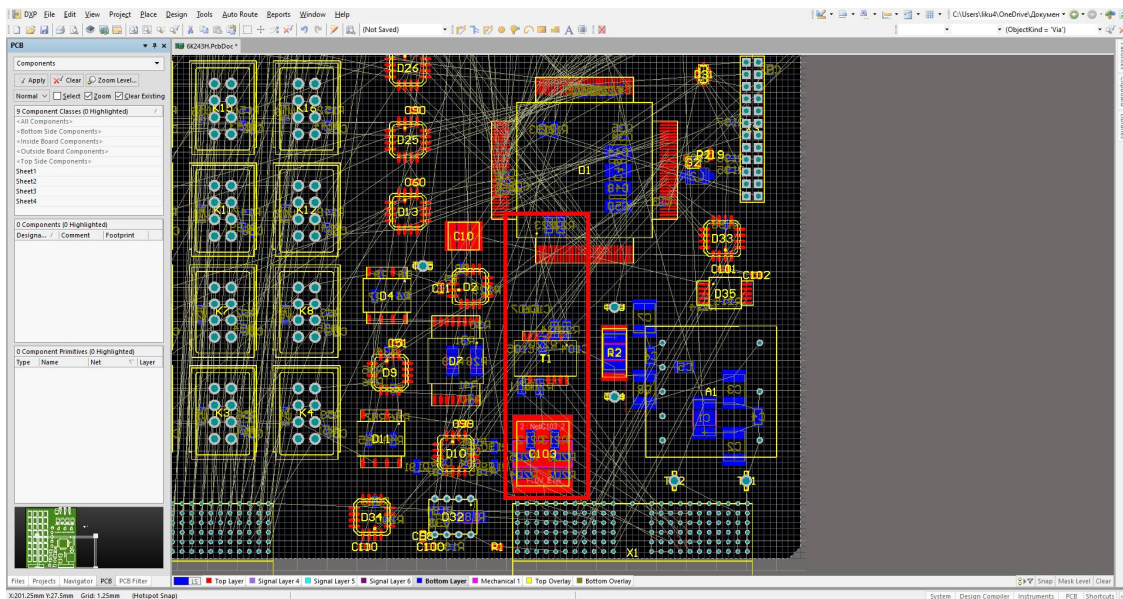


Рис. 4. Конечный план размещения компонентов

На всех этапах должны учитываться конструктивные ограничения в аппаратуре. Например, если разрешено размещение компонентов на обеих сторонах платы, то необходимо соблюдать допустимые зазоры между элементами конструкции: между печатным узлом и корпусом, между ЭМ1 и элементами модуля вышестоящего уровня, между соседними ЭМ1 на объединительной плате и т.п. Также при размещении компонентов важно учитывать технологические условия их монтажа.

Одно из различий инженерных стратегий состоит в способе компоновки функциональных групп и первичной расстановки компонентов. В одном случае, инженер компоновывает группы вне области платы, в свободном пространстве среды, а затем переносит их на монтажное поле. Во втором случае, конструктор формирует группы путем последовательного переноса компонентов на поле платы и их установки по пути прохождения сигнала. Сравнить эффективность стратегий довольно сложно, тем более что процесс не заканчивается принятием первоначального плана размещения, и он еще не раз корректируется.

Таким образом, общими местами стратегий являются:

- принцип оперирования функциональными группами, или участками схемы;
- последовательный характер размещения и корректирование методом перестановок (принцип очевиден, так как человек не может проводить параллельные вычислительные процессы).

Первый принцип легко интерпретируется в контексте мультиагентной модели. Функциональная часть схемы – есть подсистема МАС, для которой будет выполняться следующее условие: при оптимальном состоянии МАС значения параметра положения в пространстве (координат центра) у агентов данной подсистемы будут находиться в некотором ограниченном диапазоне, то есть агенты будут размещены относительно близко друг к другу.

Целевая функция системы представляет собой композицию агентных целевых функций [1]. Если агенты достигают своих оптимальных состояний при близких значениях определяющего параметра, мы можем говорить об образовании подмножества компонент целевой композиции по признаку принадлежности агентов, соответствующих этим компонентам, к некоторой подсистеме, которая как бы выполняет конкретную функцию в процессе поиска оптимального состояния всей МАС, так же как отдельный узел схемы обеспечивает правильную работу устройства, имея конкретное функциональное назначение.

Последовательный, итерационный характер ручного размещения компонентов, требует перебора большого числа вариантов и значительных временных затрат. Именно это слу-

жит предпосылкой для исследований и разработки автоматизированных средств. Самой очевидной методикой их построения является распараллеливание операций поиска оптимального варианта размещения для компонентов или групп компонентов. Руководствуясь этой методикой, преобразуем поисковые процедуры инженерных стратегий в соответствии с мультиагентной моделью.

Как было отмечено ранее, каждый интеллектуальный агент представляет собой программную сущность. Свойство интеллектуальности подразумевает наличие некоторой вычислительной части в структуре агента (ВЧА), что позволяет ему самостоятельно принимать решения и строить свое поведение, руководствуясь правилами, заложенными в ВЧА и оценкой среды в окрестности нахождения. Другими словами, пользуясь агентно-ориентированным подходом, мы можем представить себе такую среду проектирования, в которой компоненты благодаря некоторому программному механизму распараллеливания сами искали бы оптимум своего положения в реальном времени, причем делали это равномерно, детерминировано и квазинепрерывно. Первое из этих условий позволило бы предотвратить преждевременную остановку алгоритма, второе – отсечь случайные варианты значений параметров, что отвечает специфике работы инженера, которая исключает элемент случайности, а третье – сократить время решения задачи.

Однако здесь мы сталкиваемся с существенной проблемой. Если агенты будут перемещаться с одинаковой скоростью, то это приведет к хаотизации и запутыванию процесса, ведь, учитывая объектную сущность, они будут рассматривать друг друга как препятствия, и в попытке обойти их менять свои траектории. Решение этой проблемы пока что усматривается в двух способах: либо сделать так, чтобы на первых стадиях размещения до этапа его корректирования агенты игнорировали объектные сущности друг друга, либо каким-то способом дифференцировать агентов по скоростям. Второй способ больше отвечает агентно-ориентированному подходу, поэтому мы примем его.

Отвечая на вопрос о признаке дифференциации агентов по скорости принятия решений, проанализируем как агенты могут различаться степенью мобильности. Каждый агент связан с некоторым подмножеством агентов. Перед тем как совершить следующее действие, агент оценивает состояние связанных с ним агентов, и чем больше таковых, тем больше времени занимает процесс принятия решения. Следовательно, чем мощнее подмножество агентов, связанных с конкретным агентом, тем менее мобилен этот агент, и тем меньше его скорость выполнения операций.

Определим отношение скоростей агентов в случае с размещением компонентов нашего функционального узла. Для начала построим взвешенный граф $G = (X, U)$, где X – множество вершин, то есть компонентов узла, U – множество ребер – электрических связей, и определим валентности (степени вершин). Граф изображен на рисунке 5.

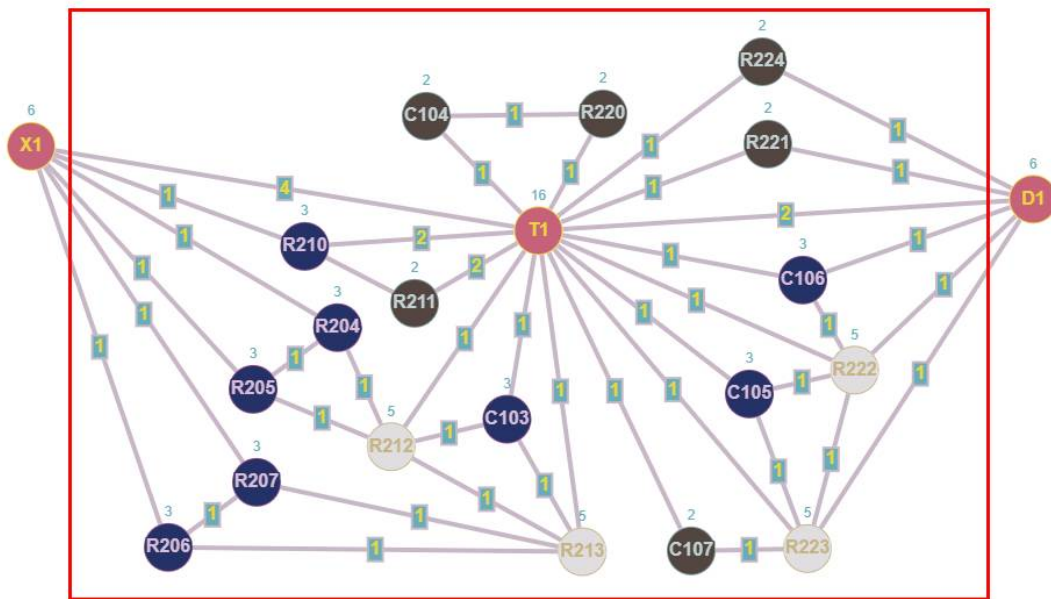


Рис. 5. Граф функционального узла схемы

Для определения скоростей агентов будем пользоваться следующим выражением:

$$\frac{dp}{dt} = \frac{1}{deg(v)_i},$$

где dp – единица изменения параметра, в данном случае, единица перемещения;

dt – единица дискретного времени;

$deg(v)_i$ – валентность вершины, то есть число связей агента.

Таким образом мы можем увидеть, что, например, для перемещения на один дискрет пространства, компоненту R211 понадобится два дискрета программного времени, а компоненту T1 – целых шестнадцать.

В данной работе мы не рассматриваем критерии и методы формирования функциональных частей принципиальной схемы (для этого можно использовать специальные алгоритмы компоновки схем или выделять части интерактивно с помощью мастера запросов, предусмотренного в САПР). Дифференцирование скоростей позволяет упорядочивать поведение агентов и определять своего рода центры тяжести групп в виде наиболее связанных и наименее мобильных агентов, что в свою очередь дает возможность распараллелить процессы единичного и группового поиска. В рассматриваемом случае ядром подсистемы является компонент T1, для которого можно отсечь операции проверки состояний связанных с ним компонентов узла с меньшей валентностью, а запас программного времени использовать на принятие решения относительно компонентов других подсистем (здесь – X1 и D1), оптимизируя положения по критериям межузловых связей и физическим критериям. Остальные компоненты узла будут искать оптимум своего положения относительно T1 и друг друга.

Если визуализировать работу данной гипотетической среды, то процесс размещения компонентов будет представляться движением множества планетарных систем с медленными центрами в виде наиболее валентных компонентов, в окрестностях которых блуждают компоненты с большими скоростями.

В итоге, процесс размещения компонентов на основе предложенной модели можно представить в виде следующей укрупненной схемы (см. рисунок 6).

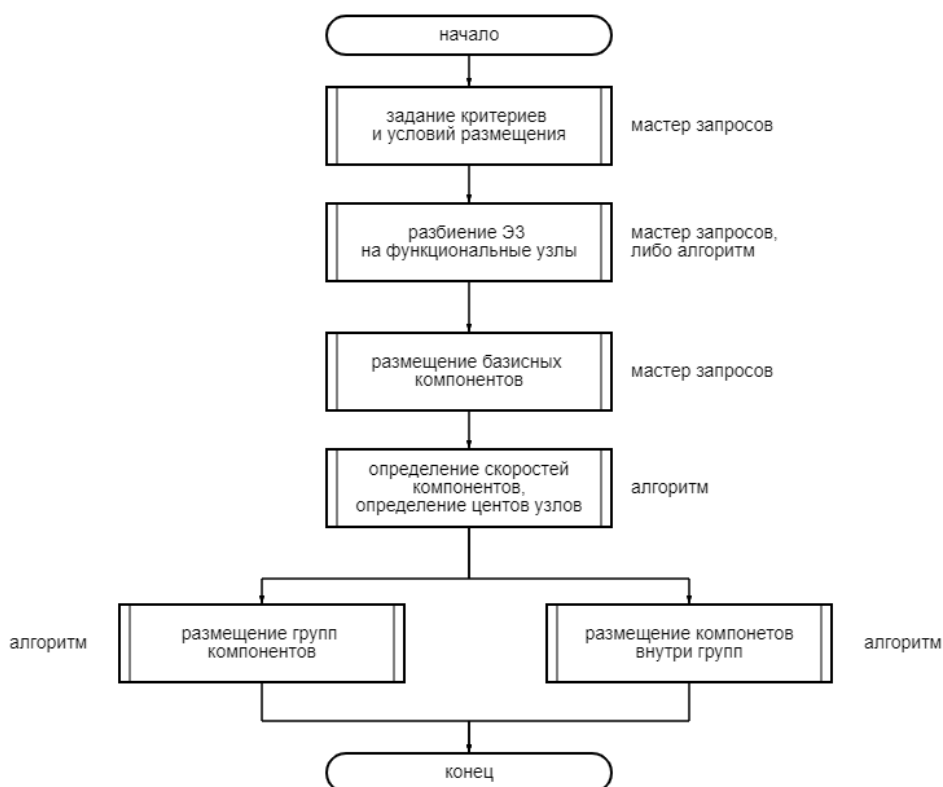


Рис. 6. Укрупненная схема процесса размещения компонентов

Комментарии к блокам показывают, с помощью какого средства выполняется та или иная процедура. Как видно из схемы, процесс размещения носит интерактивно-автоматизированный характер.

В заключении можно отметить, что использование инженерных стратегий проектирования, а также принципов и моделей МАС в качестве основы для построения автоматизированных методов и алгоритмов позволит интеллектуализировать процесс решения задач, в том числе – расширить набор оптимизационных критериев, что является первостепенным в сфере разработки модулей прецизионной аппаратуры. На данном этапе, то есть в начале развития данного направления, можно определить ряд интересных задач для дальнейших исследований, например, создание интеллектуальных процедур выделения и типизации функциональных частей схемы. Одной из самых важных и актуальных проблем является проблема создания механизмов распараллеливания вычислительных операций в пределах одной системы.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Президента РФ МД-3201.2022.1.6.

Библиографический список

1. Перепелкин Д.А., Ликучев В.Ю. О многоагентном подходе к решению задач размещения радиоэлектронных компонентов. Информационные технологии, межвузовский сборник научных трудов. – Рязань: ИП Коняхин А.В. (Book Jet), 2021. – 207 с.
2. Лопаткин А.В. проектирование печатных плат в Altium Designer. – М.: ДМК Пресс, 2016. – 400с.: ил.

УДК 004.72; ГРНТИ 50.41.23

ЗАДАЧА МНОГОПУТЕВОЙ МАРШРУТИЗАЦИИ В ПРОГРАММНО-КОНФИГУРИРУЕМЫХ СЕТЯХ НА ОСНОВЕ АЛГОРИТМА ИСКУССТВЕННОЙ ПЧЕЛИНОЙ КОЛОНИИ

Д.А. Перепелкин, В.Т. Нгуен

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

Аннотация. В работе рассматривается задача многопутевой маршрутизации в программно-конфигурируемых сетях (ПКС) на основе алгоритма искусственной пчелиной колонии.

Ключевые слова: программно-конфигурируемые сети, многопутевая маршрутизация, алгоритм искусственной пчелиной колонии.

PROBLEM OF MULTIPATH ROUTING IN SOFTWARE DEFINED NETWORKS BASED ON ARTIFICIAL BEE COLONY ALGORITHM

D.A. Perepelkin, V.T. Nguyen

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

The summary. The paper considers the problem of multipath routing in software defined networks (SDN) based on the artificial bee colony algorithm.

Keywords: software defined networks, multipath routing, artificial bee colony algorithm.

В последние годы роевой интеллект стал предметом научных интересов многих исследователей в различных областях. Глобальные сети, такие как Интернет, столкнулись с такими проблемами, как безопасность, повышение производительность и масштабируемости из-за быстрого увеличения числа конечных пользователей и спроса на новые услуги. При этом проблема маршрутизации и эффективной пересылки пакетов данных становится особенно важной при передачи данных от одного узла к другому. Программно-конфигурируемые сети (ПКС) рассматриваются как новый подход, позволяющий сетевым администраторам эффективно управлять сетевыми ресурсами и использовать их. Сочетание преимуществ ПКС и алгоритмов роевого интеллекта дало много положительных результатов [1]. В работе алгоритм искусственной пчелиной колонии используется для решения проблемы многопутевой маршрутизации в ПКС. Полученное множество маршрутов можно использовать одновременно для передачи данных от узла к узлу, так и для балансировки потоков данных.

Для исследования задачи многопутевой маршрутизации на основе алгоритма искусственной пчелиной колонии рассматривается следующая топология ПКС.

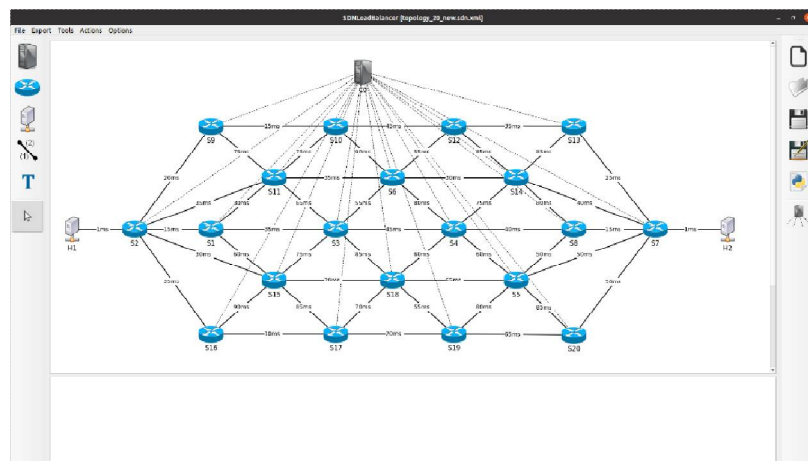


Рис. 1. Рассматриваемая топология ПКС

Полученные маршруты представлены разными цветами, как показано на рисунке 2.

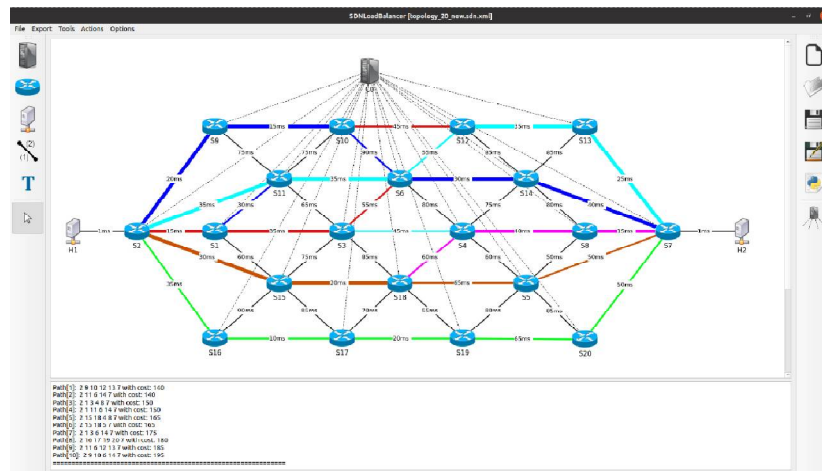


Рис. 2. Результаты работы алгоритма искусственной пчелиной колонии

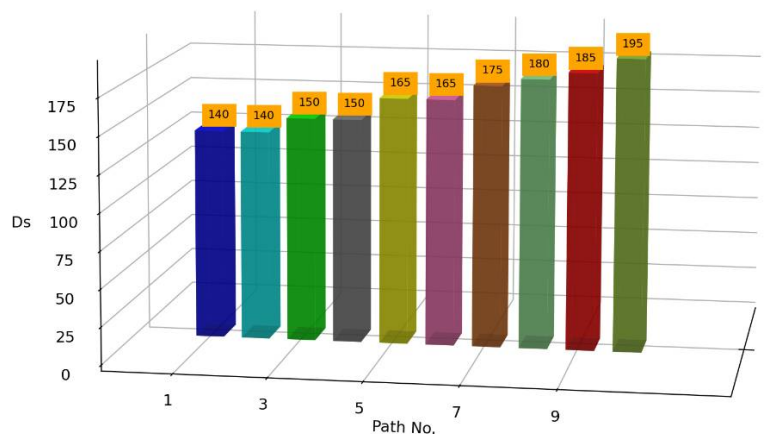


Рис. 3. Диаграмма отображения полученных длин маршрутов

Для подтверждения эффективности алгоритма искусственной пчелиной колонии (АИПК) выполнено сравнение с результатами алгоритма Йена и генетического алгоритма (ГА). Результаты алгоритма Йена представлены в таблице 1.

Таблица 1. Результаты работы алгоритма Йена

№	Path	Weight
1	2, 11, 6, 14, 7	140
2	2, 9, 10, 12, 13, 7	140
3	2, 1, 11, 6, 14, 7	150
4	2, 1, 3, 4, 8, 7	150
5	2, 15, 18, 5, 7	165
6	2, 15, 18, 4, 8, 7	165
7	2, 1, 3, 6, 14, 7	175
8	2, 16, 17, 19, 20, 7	180
9	2, 15, 18, 5, 8, 7	180
10	2, 11, 6, 12, 13, 7	185
		Sum = 1630

Для этого АИПК и ГА были запущены 100 раз, а затем подсчитывалось сколько раз каждый маршрут совпадал с маршрутом, найденным алгоритмом Йена (таблица 1). Полученные результаты приведены на рисунках 4-6. Используемые параметры АИПК: размер популяции $N = 20$ и количество итераций $Max = 100$. Используемые параметры ГА: размер популяции $N = 20$, количество итераций $Max = 100$, вероятность скрещивания $P_c = 0.9$ и вероятность мутации $P_m = 0.9$ [2].

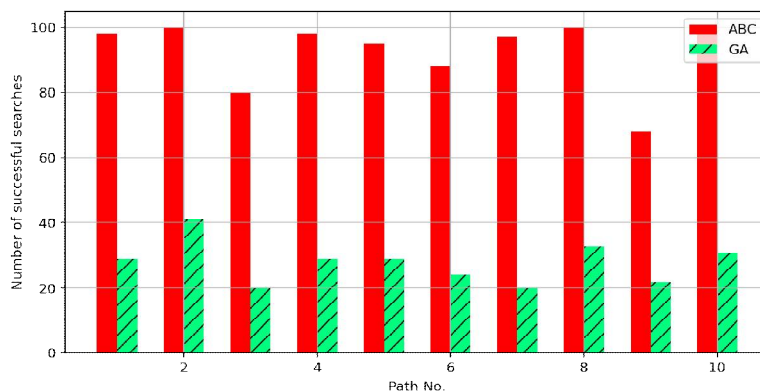


Рис. 4. Диаграмма сравнения АИПК и ГА

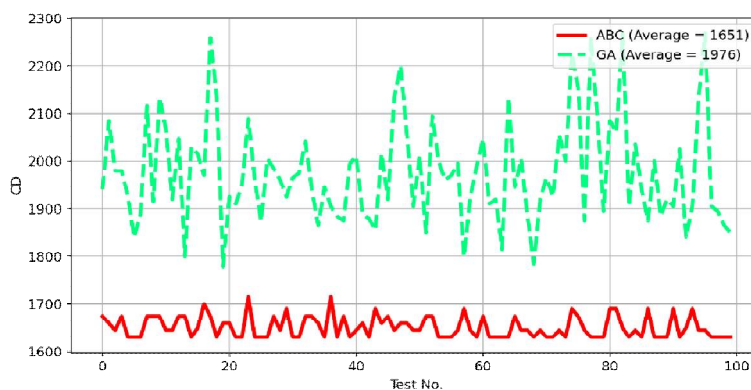


Рис. 5. График сравнения АИПК и ГА по значению общей длины маршрута (CD)

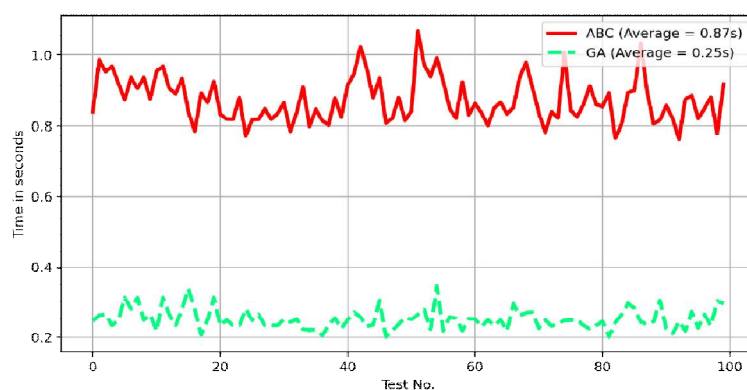


Рис. 6. График сравнения между АИПК и ГА по времени выполнения

Из рисунка 3 видно, что результат алгоритма АИПК близок к результату алгоритма Йена. Рисунки 4 и 5 показывают, что АИПК дает значительно лучшие результаты, чем ГА. Однако, как показано на рисунке 6, время выполнения АИПК больше, чем ГА.

Из приведенных выше результатов видно, что алгоритм искусственного пчелиного роя хорошо решил проблему многопутевой маршрутизации.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Президента РФ МД-3201.2022.1.6.

Библиографический список

1. Hsiu-Sen Chiang, Arun Kumar Sangaiah, Mu-Yen Chen, Jia-Yu Liu, "A Novel Artificial Bee Colony Optimization Algorithm with SVM for Bio-inspired Software-Defined Networking," in International Journal of Parallel Programming, 2020, DOI:10.1007/s10766-018-0594-6.
2. Feng Wang, Yuan Man, Lichun Man, "Intelligent optimization approach for the k shortest paths problem based on genetic algorithm," in 10th International Conference on Natural Computation (ICNC), 2014, DOI: 10.1109/ICNC.2014.6975838.

УДК 004.72; ГРНТИ 50.39.15

МЕТОДИКА ПЛАНИРОВАНИЯ И РАСПРЕДЕЛЕНИЯ РЕСУРСОВ ДЛЯ КОРРЕКТИРОВКИ ВРЕМЕНИ ВЫПОЛНЕНИЯ ОПЕРАЦИЙ В ПРОМЫШЛЕННЫХ СЕТЯХ

Д.А. Перепелкин, А.М. Фам

*Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань, phamanhminh231@gmail.com*

Аннотация. В работе рассматривается задача определения количества ресурсов, необходимых для корректировки времени выполнения операций в промышленных сетях. Предложенная методика позволяет планировать и распределять ресурсы для завершения операций в заданное время. Рассмотрен практический пример использования ресурсов для сокращения времени передачи пакетов данных в промышленных телекоммуникационных сетях.

Ключевые слова: промышленные сети, планирование ресурсов, распределение ресурсов, корректировка времени, функциональная зависимость, модель GERT-сети, плотность распределения.

TECHNIQUE FOR PLANNING AND DISTRIBUTION OF RESOURCES FOR CHANGING THE TIME OF PERFORMING OPERATIONS IN INDUSTRIAL NETWORKS

D.A. Perepelkin, A.M. Pham

*Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,
Russia, Ryazan, phamanhminh231@gmail.com*

The summary. The paper considers the task to determine the amount of resources required to adjust the time of operations in industrial networks. The proposed technique allows planning and distribution of resources to complete operations at a given time. A practical example of the use of resources to reduce the transmission time of data packets in industrial telecommunication networks is considered.

Keywords: industrial networks, resources planning, resources distribution, time adjustment, functional dependence, GERT-network model, distribution density.

Каждая операция GERT-сети характеризуется двумя параметрами: временем выполнения и необходимыми для этого ресурсами [1-3]. Такими ресурсами могут быть стоимость оборудования, объем памяти разных видов, разнообразные средства и т. д., то есть все, что обеспечивает выполнение операции. Разумеется, что данные ресурсы должны обладать свойством аддитивности или независимости случайных величин. Таким образом, можно данному моделируемому процессу сопоставить две GERT-сети, одна из которых временная, а вторая представляет сеть ресурсов.

Будем считать, что между этими сетями существует функциональная зависимость. Ресурсы, необходимые для выполнения операции, задаются функциональной зависимостью ресурса от времени или в терминах случайных величин $Y = \phi(X)$ [4]. Здесь X – время выполнения, Y – имеющийся совокупный ресурс операции.

Для того, чтобы найти количество ресурса, необходимого для корректировки времени выполнения операции, надо выполнить следующую последовательность действий:

- 1) определить разность между желаемым временем выполнения операции и ее начальным значением. Для этого нужно произвести вычитание двух случайных величин;
- 2) задать функциональную зависимость между величиной изменения времени выполнения операции и требуемого для этого ресурса. Следует отметить, что на практике, как правило, все большее уменьшение времени операции приводит ко все большему увеличению ресурса;
- 3) пользуясь правилом « k сигм» найти диапазон изменения необходимого ресурса.

Получаем четыре разновидности GERT-сетей: начальную временную GERT-сеть, начальную ресурсную GERT-сеть, откорректированную временную GERT-сеть, GERT-сеть добавленных ресурсов.

Простая GERT-сеть передачи данных изображена на рисунке 1.

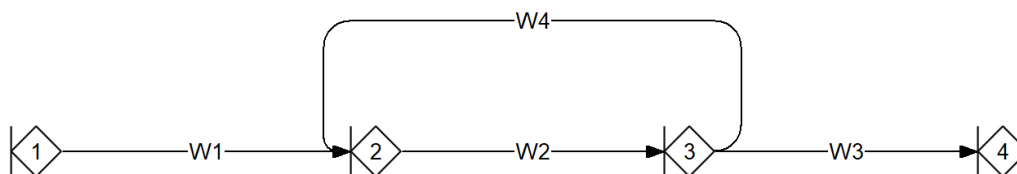


Рис. 1. Исходная GERT-сеть

Пусть все операции заданы нормальным распределением с плотностью $f(x) = \left\{ \left(1/\sqrt{2\pi}\sigma \right) \exp \left[-\frac{(x-m)^2}{2\sigma^2} \right] \right\}$, где m – математическое ожидание, а σ – среднеквадратическое отклонение времени выполнения случайной величины. Дуга $W2$ отражает передачу пакета ($m = 10$, $\sigma = 2$), а дуги $W3$ и $W4$ – прием пакета с положительной и отрицательной квитанциями с параметрами распределения ($m = 4$, $\sigma = 2$). Дуга $W1$ выполняет служебную роль, ее параметры, на моделировании не сказываются, она выполняется мгновенно. Вероятность успешной передачи пакета равна 0,99.

Производящая функция моментов дуги $W2$ равна: $M_{X_{W2}}(s) = \exp(10s + 2s^2)$, а дуг $W3$ и $W4$ равны соответственно $M_{X_{W3}}(s) = \exp(4s + 2s^2)$ и $M_{X_{W4}}(s) = \exp(4s + 2s^2)$.

Ресурсные характеристики системы выражаются линейными функциональными соотношениями $Y_{W2} = 0,5X_{W2}$, где X_{W2} – случайная величина времени выполнения операции $W2$, Y_{W2} – случайная величина ресурсов для выполнения операции $W2$. Аналогично получаем значения для операций квитирования $Y_{W3} = 0,5X_{W3}$, $Y_{W4} = 0,5X_{W4}$. Тогда математическое ожидание ресурса, необходимого для выполнения операции пересылки пакета, равно $m_{Y_{W2}} = 0,5 \cdot m_{X_{W2}} = 0,5 \cdot 10 = 5$, а среднеквадратическое отклонение – $0,5 \cdot 2 = 1$ [5].

Получим значение ресурса для операции $W2$: $g_{w_2}(y) = \left\{ \left(1/\sqrt{2\pi} \right) \exp \left[-\frac{(y-5)^2}{2} \right] \right\}$, производящая функция моментов этой величины равна $M_{Y_{W2}}(s) = \exp(5s + 0,5s^2)$. Значение ресурса для операций $W3$ и $W4$ равно: $g_{w_3}(y) = \left\{ \left(1/\sqrt{2\pi} \right) \exp \left[-\frac{(y-2)^2}{2} \right] \right\}$ и $g_{w_4}(y) = \left\{ \left(1/\sqrt{2\pi} \right) \exp \left[-\frac{(y-2)^2}{2} \right] \right\}$. Производящие функции моментов будут соответственно – $M_{Y_{W3}}(s) = \exp(2s + 0,5s^2)$ и $M_{Y_{W4}}(s) = \exp(2s + 0,5s^2)$.

Поставим задачу сокращения времени передачи пакетов дуги $W2$ с $m_{w_2} = 10$, $\sigma_{w_2} = 2$ до значений $m_{w_2}^{(1)} = 8$, $\sigma_{w_2}^{(1)} = 2$ с привлечением дополнительного количества ресурсов. Выходные величины временных GERT-сетей до и после сокращения времени передачи пакетов дуги $W2$, $f(x)$ и $f^{(1)}(x)$ соответственно, показаны на рисунке 2.

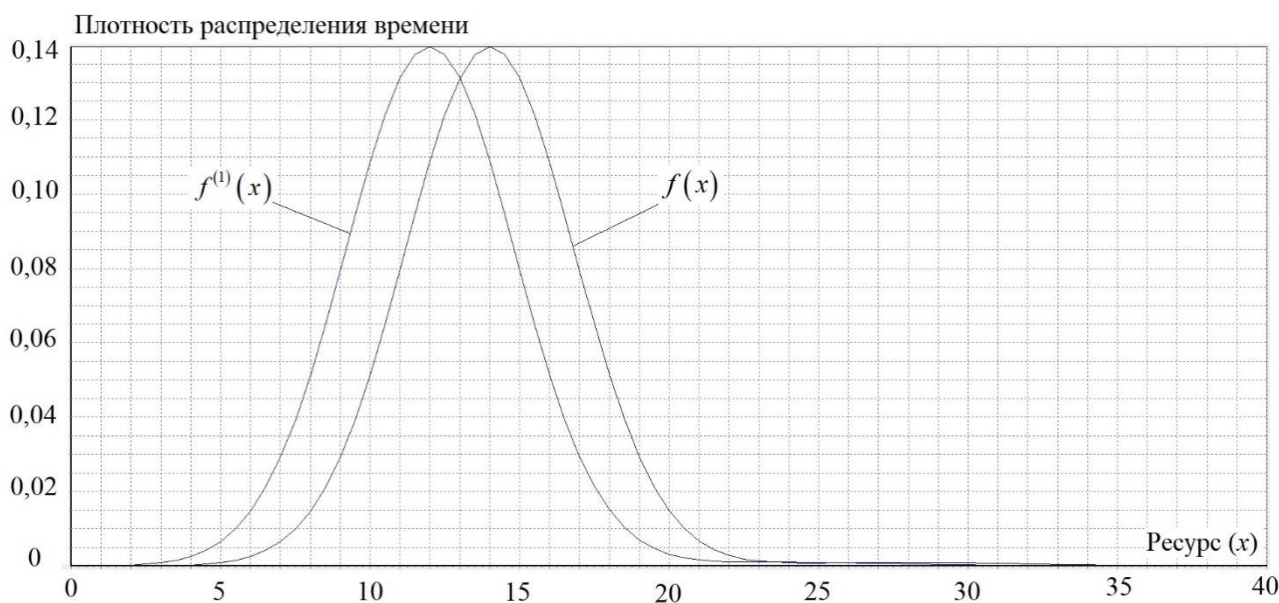


Рис. 2. Выходные плотности распределения временных GERT-сетей до $f(x)$ и после $f^{(1)}(x)$ сокращения времени передачи пакетов дуги $W2$

Разность между случайными величинами начального и желаемого времени дуги $W2$ составляет $f_{w_2}^*(x) = \left\{ 1/(\sqrt{8}\sqrt{2\pi}) \exp \left[-\frac{(x-2)^2}{16} \right] \right\}$.

$$f_{w_2}(x) = \left\{ 1/(2\sqrt{2\pi}) \exp \left[-\frac{(x-10)^2}{8} \right] \right\}$$

$$f_{w_2}^{(1)}(x) = \left\{ 1/(2\sqrt{2\pi}) \exp \left[-\frac{(x-8)^2}{8} \right] \right\}$$

Функциональная зависимость добавленных ресурсов представлена как $Y_{w_2}^{(1)} = 2X_{w_2}$. Здесь $Y_{w_2}^{(1)}$ – случайная величина, определяющая количества добавленных ресурсов для со-

кращения времени выполнения операции $W2$. Степени сокращения времени выполнения операции соответствует все большие прикладываемые усилия. Можно выбрать и другую зависимость между величинами, ввести коэффициенты пропорциональности и т. п.

Обратная функция $\varphi_{W2}^{(1)}(y) = \frac{y}{2}$, а модуль ее производной равен $\frac{1}{2}$. Тогда плотность распределения вероятности добавленных ресурсов равна

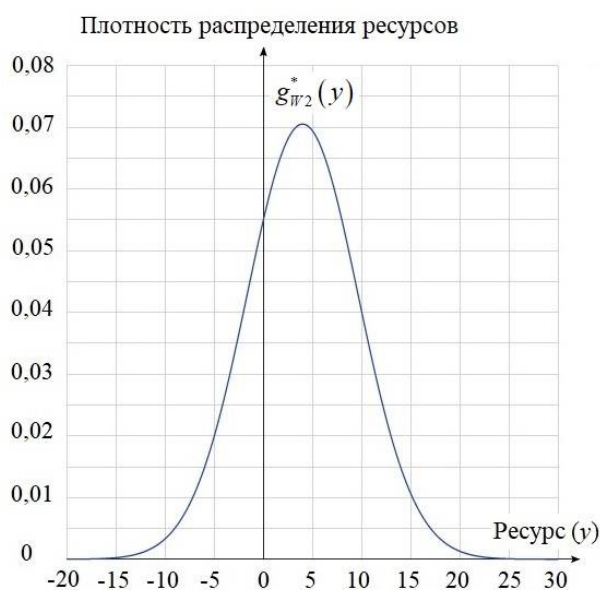
$$g_{W2}^*(y) = \left\{ \frac{1}{(2\sqrt{8}\sqrt{2\pi})} \exp \left[-\frac{(y-4)^2}{64} \right] \right\} \text{ и изображена на рисунке 3.}$$


Рис. 3. Плотность распределения добавленных ресурсов для сокращения времени выполнения операции

Разработчик системы может определить диапазон зарезервированных ресурсов, пользуясь правилом $k\sigma$ (k – выбранное число). Пусть несколько не мешает нам попадание левого участка кривой в область отрицательных значений, так как всегда можно начальную точку отсчета сместить влево.

GERT-сеть ресурса после добавления ресурсов для изменения времени выполнения операций представлена на рисунке 4.

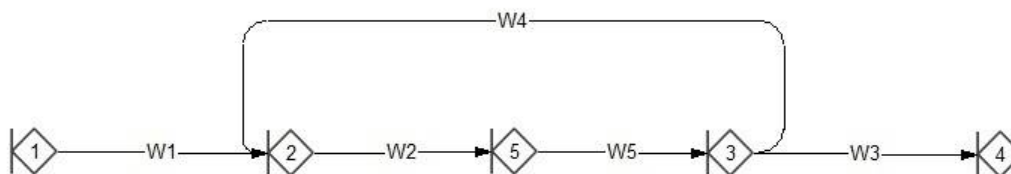


Рис. 4. Ресурсная GERT-сети с добавленными ресурсами для изменения времени выполнения операций

Дуга $W5$ отражает величину добавленных ресурсов, необходимых для сокращения времени передачи пакетов дуги $W2$. Выбрано число $k = 3$ и дуга $W5$ характеризуется с параметрами математического ожидания $m_{W5} = m_{W2}^* + k\sigma_{W2}^* = 4 + 3 \cdot 2\sqrt{8}$ и среднеквадратического отклонения $\sigma_{W5} = \sigma_{W2}^* = 2\sqrt{8}$. Выходные величины ресурсных GERT-сетей до и после добав-

ления ресурсов для сокращения времени выполнения операции дуги $W2$, $g(y)$ и $g^{(1)}(y)$ соответственно, показаны на рисунке 5.

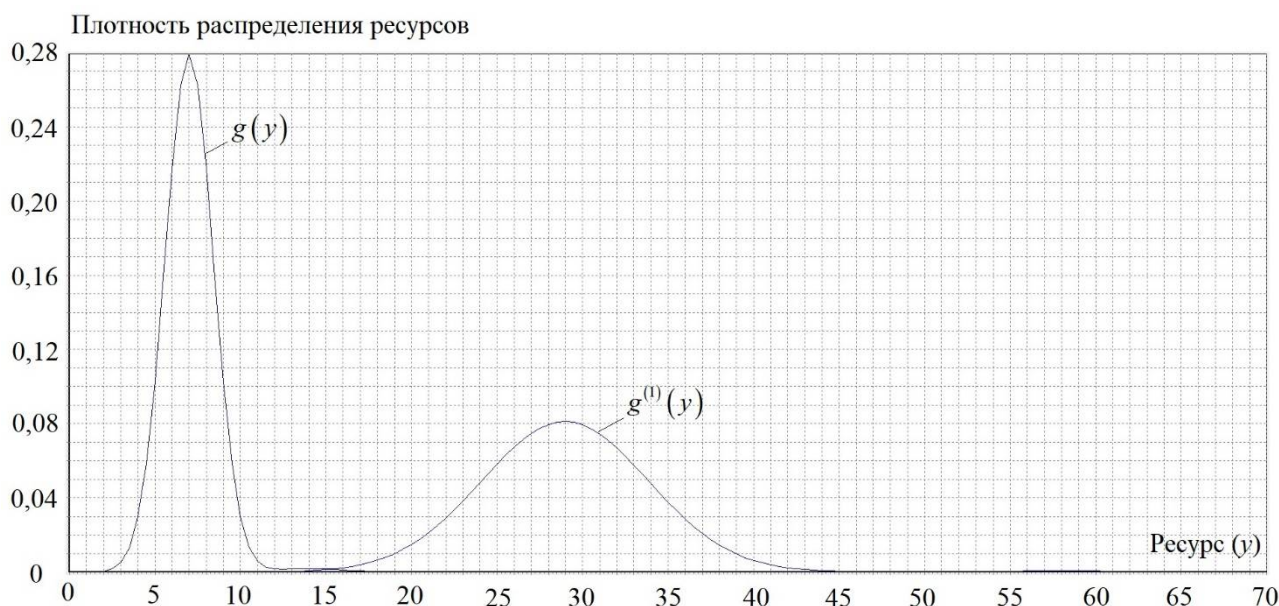


Рис. 5. Выходные плотности распределения ресурсных GERT-сетей до $g(y)$ и после $g^{(1)}(y)$ сокращения времени передачи пакетов дуги $W2$

При рациональном выборе числа k , разработчики системы могут разрабатывать план резервирования и использования ресурсов для корректировки времени работы системы, удовлетворяющего заданным условиям. Использование ресурсов для изменения времени выполнения операций является приложением применения функциональных зависимостей для расширения возможностей теории GERT-сетей [6].

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Президента РФ МД-3201.2022.1.6.

Библиографический список

1. Фам А. М., Шибанов А. П. Применение GERT-сетей для оценки функциональных зависимостей по ресурсам // 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. Перепелкин Д. А., Фам А. М., Нгуен А. З. 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.
3. Перепелкин Д. А., Фам А. М. Методика расчета временных и ресурсных характеристик промышленных сетей с функционально зависимыми случайными операциями // Современные технологии в науке и образовании: материалы IV Международного научно-технического форума / Рязан. гос. радиотехн. ун-т. – Рязань, 2021. Сборник трудов, Том 3 – С. 118-121.
4. Вентцель Е.С., Овчаров Л.А. Теория вероятностей и ее инженерные приложения. М.: Высшая школа, 2000. 480 с.
5. Шибанов А. П., Нгуен А. З., Фам А. М. Использование стохастических сетей при планировании прибыли с учетом возможных потерь // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. – 2020. № 71. – С. 60-70.
6. Перепелкин Д. А., Фам А. М. Задача расширения функциональных возможностей теории GERT-сетей при планировании и распределении разнородных ресурсов // Актуальные проблемы современной науки и производства: материалы VI Всероссийской научно-технической конференции / Рязан. гос. радиотехн. ун-т. – Рязань, 2021. – С. 259-265.

УДК 004.896; ГРНТИ 47.14

СИСТЕМА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ INTEL QUARTUS PRIME: ДОСТОИНСТВА И НЕДОСТАТКИ

М.С. Игошина

*Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань, igoshina.m.s@rsreu.ru*

Аннотация. В работе рассматривается платформа моделирования в базисе ПЛИС – Intel Quartus Prime. Приводятся её основные особенности, достоинства и недостатки, а также сравнение функциональных возможностей существующих версий среды.

Ключевые слова: система автоматизированного проектирования (САПР), проектирование, программируемые логические интегральные схемы (ПЛИС), Altera, пакет Quartus.

INTEL QUARTUS PRIME CAD: ADVANTAGES AND DISADVANTAGES

M.S. Igoshina

*Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,
Russia, Ryazan, igoshina.m.s@rsreu.ru*

The summary. The paper considers the simulation platform based on FPGA – Intel Quartus Prime. Its main features, advantages and disadvantages are given, as well as a comparison of the functionality of existing versions of the environment.

Keywords: computer-aided design (CAD), design, programmable logic integrated circuits (FPGA), Altera, Quartus package.

Одной из главных проблем, возникающих в процессе конструирования, является выбор платформы проектирования, удовлетворяющей техническим требованиям разработчика. Выбор определенной системы зависит от поставленной задачи: обеспечение низкой вероятности ошибки, высокой скорости передачи информации или относительная простота устройства. Следовательно, существенным критерием становится ограничение «цена-качество».

В данной статье рассмотрим систему автоматизированного проектирования Intel Quartus Prime, поддерживающую полный цикл, необходимый для создания высокопроизводительных систем на кристалле, и позволяющую решать большой спектр разнообразных технических задач.

Введение

Intel Quartus Prime – мультисреда от компании Altera, реализующая сквозное проектирования цифровых устройств на кристаллах ПЛИС. Платформа объединяет в себе моделирование, синтез, размещение элементов, трассировку соединений и верификацию, поддержку высокоуровневых языков описания аппаратуры – Verilog и VHDL. Значительно возросшие возможности устройств с многомиллионными логическими элементами предоставляют дизайнерам идеальную платформу для удовлетворения возможностей проектирования следующего поколения

Свою историю система Intel Quartus Prime начинает с модуля Quartus II, существовавшего до версии 15.0. С модификации 15.1. среда проектирования носит название Quartus Prime. На данный момент последняя версия платформы – Intel Quartus Prime v21.3, поддерживающая новое семейство ПЛИС – Intel Agilex, которое использует гетерогенную технологию 3D-системы в пакете (SiP) для интеграции структуры ПЛИС [1]. Это обеспечивает до 45% более высокую производительность и до 40% более низкое энергопотребление для приложений в центрах обработки данных, сетях и периферийных вычислениях.

Мультисреда Quartus Prime предлагает 3 линейки для разработчиков:

- Intel Quartus Prime Pro Edition,
- Intel Quartus Prime Standart Edition,
- Intel Quartus Prime Lite Edition.

Функциональные возможности Intel Quartus Prime

Система Quartus Prime включает в себя все программные средства, необходимые для определения, моделирования, реализации и отладки ПЛИС. Рассмотрим более детально функциональные возможности модулей платформы:

Создание проекта. Среда позволяет создавать, организовывать и управлять элементами дизайна внутри проекта. Проект инкапсулирует информацию об иерархии дизайна, библиотеках, ограничениях и настройках [2]. После генерации проекта, можно создавать файлы проекта, используя полнофункциональные редакторы схем и текста от Intel Quartus Prime или комбинировать свои файлы с Intel и сторонние файлы проектирования IP-ядра, включая объединение компонентов. Quartus Prime поддерживает несколько способов описания аппаратуры:

Использование высокоуровневых языков Verilog, SystemVerilog и VHDL. В мультисреде Quartus Prime предусмотрено несколько шаблонов, доступных в синтаксисе HDL, для часто используемых логических элементов, выбранные назначения сигналов, параллельные назначения сигналов и вызовы подпрограмм;

Platform Designer является графическим инструментом ввода, реализующим подключение сложных модулей структурированным способом;

Использование языка C++ в блоке синтеза высокого уровня (HLS), позволяющего выражать сложные модули;

Технологию OpenCL, основанную на C++, для реализации вычислительных алгоритмов на гетерогенных платформах.

Контакты ввода-вывода. Для сохранения соответствия контактов и временных ограничений при оптимальном размещении в готовом устройстве, процесс планирования ввода-вывода проводится на первоначальных этапах конструирования ПЛИС. В платформе Quartus Prime предусмотрено несколько способов управления процессом планирования, благодаря которым удовлетворяются требования по ограничениям:

Планировщик интерфейсов решает задачи периферии устройств, осуществляет интеграцию сразу нескольких модулей с жесткими требованиями к назначению контактов.

Планировщик контактов представляет собой низкоуровневый инструмент для назначения контактов. Используется для ручного размещения выводов, указания скорости нарастания и прочности привода, решения задач редактирования, проверки и экспорта назначений ПИН-кодов.

Симуляция. Моделирование в среде Quartus Prime включает: настройку рабочей среды симулятора, компиляцию библиотек имитационных моделей, запуск симуляции. Платформа поддерживает использование скриптового потока для автоматизации обработки моделирования в предпочтительной системе проектирования. Существует возможность создания и реализации сценариев настройки среды моделирования, включающихся в сценарии верхнего уровня моделирования.

В версии Quartus Prime Standart Edition предусмотрен инструмент NativeLink, позволяющий автоматически запускать все шаги, необходимые для симуляции, после изменения исходного кода или IP-адреса.

Синтез. На этапе логического синтеза принимается код уровня передачи регистров (RTL) и создается сетевой список примитивов более низкого уровня, использующийся в качестве входных данных для размещения дизайна. Платформа Quartus Prime оснащена расширенным интегрированным синтезом, интерфейсами со сторонними инструментами синтеза, а также предлагает схематические средства просмотра сетевых списков, которые можно использовать для анализа структуры дизайна.

Анализатор времени. Анализатор времени в Quartus Prime представляет собой мощный инструмент анализа времени в стиле ASIC, реализующим проверку производительности

синхронизации всей логики в проекте, используя при этом стандартные отраслевые ограничения, методологию анализа и отчетности. Он может управляться через графические интерфейсы пользователя или командной строки для ограничения, создания отчетов о результатах для всех временных отрезков проекта. При обнаружении анализатором того, что спецификации синхронизации не выполнены, то конструкция должна быть оптимизирована для синхронизации до тех пор, пока несоответствие не будет закрыто и спецификации синхронизации не будут выполнены.

Оптимизация дизайна. Платформа Quartus Prime включает в себя широкий спектр функций, оптимизирующие дизайн проекта для площади и времени, т.е. предлагается оптимизация сетевых списков физического синтеза для большего улучшения, чем при стандартном процессе компиляции. Физический синтез способствует повышению производительности проекта, независимо от используемого инструмента синтеза.

Существуют следующие инструменты визуального представления проекта, позволяющие диагностировать любые проблемные области в дизайне с точки зрения логической или физической неэффективности:

Netlist Viewers демонстрирует схематическое представление проекта на нескольких этапах процесса реализации: до и после синтеза, после трассировки, что позволяет отслеживать соответствие и неточности на каждом шаге проектирования.

Chip Planner анализирует критические пути и перегрузки маршрутов, дает возможность разделять и компоновать дизайн на более высоком уровне.

Design Space Explorer II (DSE) осуществляет поиск настроек, исследует пространство проектирования дизайна, а также использует методы оптимизации и анализирует результаты. Как правило, применяется для управления сразу несколькими компиляциями с различными параметрами для обнаружения лучшей комбинации параметров, достигающей временного закрытия.

Отладка на кристалле. С увеличением размеров, повышением сложности, улучшением функциональных возможностей ПЛИС процесс проверки является одной из основных итераций процесса конструирования. Для упрощения данного этапа САПР Quartus Prime предлагает пакет встроенных инструментов отладки, которые позволяют в режиме реального времени захватывать внутренние узлы в конструкции для быстрой проверки проекта без использования внешнего оборудования, такого как настольный логический анализатор или анализатор протоколов. Это способствует уменьшению количества контактов, необходимых для прощупывания сигнала на уровне платы. Используются следующие инструменты отладки:

Системная консоль – интерфейс с поддержкой сценариев между рабочей станцией и компонентами;

Модули приемопередатчика позволяют тестировать и настраивать качество сигнала канала связи приемопередатчика;

Logic Analyzer signal Tap благодаря локальным ресурсам ПЛИС выбирает тестовые узлы, после чего выводит информацию на графические дисплеи осциллографа;

Редактор содержимого встроенной памяти и т.д.

Quartus Prime Pro Edition предлагает 2 способа проектирования на основе блоков, которые обеспечивают разработчикам из разных стран совместно работать:

Добавочная компиляция – сохранение или очистка раздела в проекте, работающая с основными разделами и не требующая дополнительных файлов;

Повторное использование блоков – многократное использование блока проекта в другом проекте благодаря созданию, сохранению и экспорту проекта, что позволяет закрыто передавать разделы.

Частичная реконфигурация (PR) направлена на перепрограммирование некоторой части ПЛИС, в то время как оставшаяся конструкция продолжает функционировать [2].

Мультиплатформа Quartus Prime осуществляет полноценную поддержку сценариев потоков конструирования командной строки и языка командных программ (Tcl). Отдельно исполняемые файлы для каждого этапа процесса проектирования, например, синтез или анализ времени, включают в себя опции для создания общих настроек и выполнения общих задач.

Семейства Intel Quartus Prime

Существуют 3 линейки Quartus Prime для разработчиков:

Пакет *Intel Quartus Prime Pro Edition* оптимизирован для поддержания расширенных функций ПЛИС и SOC следующего поколения с семействами устройств Agilex, Stratix 10, Arria 10 и Cyclone 10 GX.

Пакет *Intel Quartus Prime Standard Edition* включает обширную поддержку более ранних семейств устройств в дополнение к семейству устройств Cyclone 10 LP.

Пакет *Intel Quartus Prime Lite Edition* поддерживает более простые линейки устройств большого объема и доступно для бесплатной загрузки, не нуждается в лицензии.

Сравнение технических характеристик версий представлено в таблице 1.

Таблица 1. Сравнение функциональных возможностей версий среды Quartus Prime

Функционал	Quartus Prime Pro Edition	Quartus Prime Standard Edition	<i>Quartus Prime Lite Edition</i>
Частичная реконфигурация	✓	✓	✓
Добавочная компиляция	✓	✓	
Повторное использование блоков	✓		
Поддержка многопроцессорности	✓	✓	✓
HLS компилятор	✓	✓	✓
Дизайнер платформ	✓	✓	✓
Планировщик интерфейса	✓		
Планировщик контактов	✓		
Поддержание языков Verilog, SystemVerilog и VHDL	✓	✓	✓

Библиографический список

1. Сафьянников Н.М., Буренова О.И., Алипов А.Н. Информационно-измерительные преобразователи киберфизических систем: учебное пособие для вузов. – СПб.: Издательство «Лань», 2020. – 236 с.: ил.
2. Строганов А.В. Реализация алгоритмов цифровой обработки сигналов в базе программируемых логических интегральных схем: Учебное пособие. – СПб.: Издательство «Лань», 2019 – 356 с.

УДК 004.3; ГРНТИ 50.09

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПОСТОЯННОГО ЗАПОМИНАЮЩЕГО УСТРОЙСТВА В БАЗИСЕ ПЛИС

М.С. Игошина

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

Аннотация. В работе рассматривается возможность реализации ПЗУ в базисе ПЛИС. Приводятся основные особенности устройства, а также принципы проектирования, основанные на использовании высокоуровневого языка VHDL.

Ключевые слова: постоянное запоминающее устройство (ПЗУ), проектирование, процессор, программируемые логические интегральные схемы (ПЛИС), язык описания VHDL, Altera.

DESIGNING A PERMANENT MEMORY IN THE FPGA BASIS

M.S. Igoshina

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

The summary. The paper considers the possibility of implementing a ROM in the FPGA basis. The main features of the device are given, as well as design principles based on the use of the high-level language VHDL.

Keywords: read-only memory (ROM), design, processor, programmable logic integrated circuits (FPGA), VHDL description language, Altera.

Введение

В настоящее время всё больше разработчиков при проектировании мощных цифровых систем со значительными вычислительными способностями в качестве элементной базы выбирают ПЛИС, так как они обладают следующими преимуществами:

- Распространенность и доступность на рынке;
- Разнообразный ценовой сегмент;
- Гибкость и совместимость на уровне программирования, использование высокоуровневых языков описания аппаратуры;
- Широкий спектр конструкторских решений, реализуемый микросхемами.

Благодаря своим функциональным характеристикам, ПЛИС всё чаще стали использоваться не как приложение к процессору, способное выполнять вспомогательные итерации, а в качестве инструмента для создания «системы-на-кристалле», способного реализовывать в проекте все особенности микроконтроллерных систем.

В данной статье будет рассмотрен пример возможного проектирования процессора с асинхронным ПЗУ в базисе ПЛИС.

Постоянное запоминающее устройство (ПЗУ)

Постоянное запоминающее устройство представляет собой память для чтения, отличающуюся быстродействием и энергонезависимостью. При выключении ЭВМ данные, которые хранятся в ПЗУ и записываются в виде двоичного кода в самостоятельные ячейки памяти, а также являющиеся неизменяемыми, никуда не исчезают. Доступ к такой информации имеет только процессор, однако, через предварительную передачу данных в ОЗУ [2].

Постоянное запоминающее устройство предназначено для хранения констант и управляющих программ, например:

- Тестовые программы, которые при активации устройства проверяют корректность работы его модулей;
- Программы, предназначенные для управления периферийными устройствами (клавиатура).


```

"1110110",
"1110111",
"0011100",
"1111111",
"1111110",
"1011111",
"1110011",
"0100111",
"1111001",
"1100111",
"1000111");

end pack_ROM;
package body pack_ROM is
end pack_ROM;
```

Реализация процессора в базисе ПЛИС

Необходимо создать VHDL-описание процессора с асинхронным ПЗУ, при помощи конечного автомата с циклом в 2 такта. Это достигается за счёт использование операторов реализующих ветвление – *case* и *if* при детектировании атрибута переднего фронта синхроимпульса *clk* [1]. Кроме этого в VHDL-модели присутствуют асинхронный сброс регистров *Y*, *X* и счетчик команд на регистре *reg_count*

VHDL-описание процессора:

```

library ieee;
use ieee.std_logic_1164.all;
use ieee.std_logic_arith.all;
use ieee.std_logic_unsigned.all;
entity proc is
port (reg_count: inout std_logic_vector(7 downto 0) ;
cmd: inout std_logic_vector(15 downto 0);
clk,res: in std_logic;
RSP_1: inout std_logic_vector(7 downto 0);
RSP_2, REG: inout std_logic_vector(7 downto 0));
end proc;
architecture e of proc is
signal stage: std_logic;
begin
process(clk)
begin
if (res = '1') then
RSP_1 <=<"00000000">;
RSP_2 <=<"00000000">;
reg_count <=<"00000000">;
elsif clk'event and clk='1' then
case stage is
when '0'=> stage<='1';
when others=> stage<='0';
case conv_integer(cmd) is
```

```

when 0=> reg_count <= reg_count+1;
when 256 to 511 => reg_count<=cmd(7 downto 0);
when 512 to 767 => if conv_integer(RSP_1)=0
then reg_count<=cmd(7 downto 0);
else reg_count<=reg_count+1;
end if;
when 768 to 1023 => r<=reg_count; reg_count<=cmd(7 downto 0);
when 1024 to 1279 => RSP_1<=cmd(7 downto 0); reg_count<=reg_count+1;
when 1280 to 1535 => RSP_2<=cmd(7 downto 0); reg_count<=reg_count+1;
when 1536 => reg_count<=r+1;
when 1537=> RSP_1<=RSP_2; reg_count<=reg_count+1;
when 1538=> RSP_2<=RSP_1; reg_count<=reg_count+1;
when 1539=> RSP_1<=RSP_2; RSP_2<=RSP_1; reg_count<=reg_count+1;
when 1540=> RSP_1<=RSP_1+RSP_2; reg_count<=reg_count+1;
when 1541=> RSP_1<=RSP_1-RSP_2; reg_count<=reg_count+1;
when 1542=> RSP_1<=RSP_1 and RSP_2; reg_count<=reg_count+1;
when 1543=> RSP_1<=RSP_1 or RSP_2; reg_count<=reg_count+1;
when 1544=> RSP_1<=RSP_1 oREG RSP_2; reg_count<=reg_count+1;
when 1545=> RSP_1<=RSP_1-1; reg_count<=reg_count+1;
when others=> reg_count<=reg_count+1;
end case;
end case;
end if;
end process;
end e;

```

Алгоритм работы процессора с асинхронным ПЗУ следующий:

- При последовательной работе процессора происходит последовательная загрузка регистров RSP_1 и RSP_2. Затем начинается запись содержимого счетчика команд *reg_count* в регистр хранения адреса REG.
- Из указанного адреса, с которого процессор начинает выполнять подпрограмму, хранимую в ПЗУ, извлекается регистровая команда. Посредством следующей команды произойдет сложение содержимого регистров с сохранением результата в регистре RSP_1.
- Далее будут отработаны следующие команды. При возврате из подпрограммы происходит изменение данных счётчика – добавляется сумма, полученная в предыдущей итерации.

Библиографический список

1. Ушенина И.В. Проектирование цифровых устройств на ПЛИС: Учебное пособие. - СПб.: Издательство «Лань», 2019. – 408 с.:ил.
2. Дэвид М. Харрис, Сара Л. Харрис. Цифровая схемотехника и архитектура компьютера./пер.с англ. Imagination Technologies. – М.: ДМК Пресс, 2017. – 792 с.:ил.

УДК004.72; ГРНТИ50.39, 50.

ИССЛЕДОВАНИЕ АЛГОРИТМА УПРАВЛЕНИЯ ВИРТУАЛЬНЫМИ РЕСУРСАМИ ОБЛАЧНОГО СЕРВИС ПРОВАЙДЕРА

М.А. Иванчикова, С.С. Корнеев

*Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань, 1337zone@mail.ru*

Аннотация. В работе рассматривается задача управления виртуальными ресурсами в облачных инфраструктурах сервис провайдера. Приведена укрупненная схема алгоритма оптимизации и улучшения использования выделенных вычислительных ресурсов в условиях физических ограничений аппаратного обеспечения.

Ключевые слова: цифровые ресурсы, облачные технологии, прогнозирование нагрузки, провайдеры связи.

RESEARCH OF ALGORITHM FOR MANAGING VIRTUAL RESOURCES OF A CLOUD SERVICE PROVIDER

M.A. Ivanchikova, S.S. Korneev

*Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,
Russian Federation, Ryazan, 1337zone@mail.ru*

The summary. A problem of managing virtual resources of service providers in cloud infrastructures is considered in this paper. The enlarged scheme of the algorithm of optimization and improvement of the use of allocated computing resources in the conditions of physical limitations of hardware is given.

Keywords: virtual resource, cloud technologies, load prediction, service providers.

Облачные системы повсеместно и стремительно вошли в жизнь обычных людей. Основным достоинством облака является его доступность – каждый пользователь может из любой точки мира подключиться к своему рабочему месту, имея при этом ноутбук и интернет. Облака позволяют экономить огромное количество средств на закупку оборудования с высокими характеристиками производительности, а также экономить на его дальнейшем обслуживании. Кроме того, исчезает необходимость покупки программного обеспечения, его настройки и поддержки, так как в облачных сервисах организация платит только за фактическое использование ресурсов. Гибкость облачных технологий предоставляет неограниченность ресурсов за счет использования систем виртуализации. Надежность хранения данных достигается за счет резервирования центров обработки данных, высокой защиты от DDOS атак, чего крайне тяжело достигнуть имея локальный сервер или компьютер, который будет находиться в одном из кабинетов компании.

Услуги хранения и передачи информации предоставляются множеством популярных облачных сервисов. Но развитие информационных ресурсов, создание новых типов сетевого вывода приводят к применению облачных технологий на достаточно высокий уровень. С помощью облачных технологий можно обмениваться данными, слушать музыку, организовать бизнес, так же в последнее время становится все актуальнее облачный гейминг, с помощью которого пользователь может воспользоваться вычислительными мощностями компании, предоставляющей эти услуги в личных целях. Облачные технологии позволяют быстро «из коробки» развернуть всю необходимую инфраструктуру для бизнеса. Предприятиям выгоднее купить необходимый объем вычислительных мощностей и при необходимости увеличить или уменьшить их в зависимости от текущих целей, чем закупать дорогостоящее оборудование при каждом изменении нагрузки. Поэтому актуальной становится задача управления и прогнозирования вычислительных ресурсов, решение которой включает в себя 3 основных этапа:

1) подготовительная фаза, в которой собирается информация об используемых ресурсах;

2) фаза планирования, в которой обрабатывается полученная информация и на основании алгоритма прогнозирования составляется план балансировки ресурсов, при котором устраняются перегрузки на каналах связи и минимизируются потери качества обслуживания;

3) фаза балансировки, при которой происходит выполнения плана.

Основным этапом в управлении вычислительными ресурсами является фаза планирования. При организации доступа к информационным системам эффективное прогнозирование позволяет динамически составлять план потребляемых ресурсов для оптимизации структуры облачной системы, изменять создаваемую нагрузку на сервисы за очень короткие промежутки времени. Применение технологий искусственного интеллекта позволяет не допустить истощения ресурсов и сбалансировать нагрузку заранее, не достигая пиковых значений [1-3].

Алгоритм управления виртуальными ресурсами облачного сервис провайдера на первом этапе осуществляет сбор данных о поступающих в систему запросах, анализирует их, классифицирует по типу трафика, критичности приложений для бизнес-процессов. Входными данными для алгоритма управления выступают приложения, описанные в виде шаблона, состоящего из образа виртуальной машины с заданными параметрами конфигурации аппаратного и программного обеспечения и характеристиками, обеспечивающими учет сессий пользователей. На основе полученного шаблона и результата анализа трафика, истории подключений к облачной инфраструктуре предприятия, алгоритм осуществляет расчет конфигураций для установки требуемых сервисов, а также балансировки нагрузки в существующей сетевой структуре. При этом в случае схожести виртуальных машин по типам трафика предлагаются варианты уже созданных ранее образов, размещаемых на сетевом хранилище данных. Для оптимизации и улучшения использования выделенных вычислительных ресурсов в условиях физических ограничений аппаратного обеспечения, алгоритм формирует три варианта конфигурации виртуальных машин.

1. Обеспечение запаса производительности в случае неожиданного увеличения количества пользователей и нагрузки. Облачной системой будет производиться масштабирование в рамках всех доступных на текущий момент времени ресурсов. Кроме того, алгоритм управления виртуальными ресурсами облачной системы, используя данные о текущей конфигурации сети и ее характеристиках, формирует диапазон количества экземпляров виртуальных машин, доступных для запуска с учетом ограниченности ресурсов.

2. Специальное снижение производительности виртуальных машин при числе пользователей. Такой подход является наиболее эффективным при использовании сервисов для узкоспециализированной аудитории пользователей. Как и в случае с первым вариантом алгоритм формирует область доступного количества копий виртуальных машин, что позволяет обеспечить параллельный запуск приложений на нескольких вычислительных узлах при увеличении нагрузки на приложение. Так производится разделение на независимые узлы общей вычислительной задачи, поэтому позволяет обеспечить качество обслуживания для пользователей, использующих приложения в соответствующем качестве.

3. Создание конфигурации с заданными пользователем характеристиками. Учитывается фиксированный коэффициент масштабирования, и определенное количество копий виртуальных машин, которые будут запущены независимо от количества пользователей сразу после выполнения алгоритма. При этом алгоритм используется лишь для расчета максимального числа виртуальных машин, доступных в выбранной пользователем сборке для обеспечения ограничения по вычислительным ресурсам.

На втором этапе алгоритма управления виртуальными ресурсами облачного сервис провайдера производится непосредственное обслуживание запросов, создаваемых

пользователями. Прогнозируется возможность увеличения мощностей во время работы приложений. Алгоритм учитывает как общее число запросов от каждого из источников, так и поступающий объем трафика каждого типа, что дает возможность на основе анализа этих данных спрогнозировать нагрузку на запущенные приложения. На основе спрогнозированного плана балансировки нагрузки алгоритм осуществляет переход виртуальных машин между физическими вычислительными узлами, увеличивая тем самым эффективность работы приложений. Для того чтобы эффективно использовать ресурсы в сетевом хранилище образов создаются копии виртуальных машин, поддерживающие работу приложений для разграничения количества одновременно работающих пользователей. При этом, если прогнозируется увеличение нагрузки на любой из сервисов, алгоритм управления виртуальными ресурсами развернет полноценную версию ресурса и продолжает анализировать запросы, которые поступают от пользователей. Если в течение заданного промежутка времени нагрузка не превышает количества запросов стандартного потока в режиме «stand by», алгоритм переключает нагрузку на соответствующий образ, отключая при этом виртуальную машину. Подход, используемый в данном алгоритме управления виртуальными ресурсами, позволяет не только учитывать физические ограничения вычислительных ресурсов, но и позволяет организовывать работу облачной инфраструктуры сервис провайдера так, что устанавливается число приложений с учетом количества запросов пользователей.

Работа выполнена при финансовой поддержке стипендии Президента РФ СП-2459.2021.5

Библиографический список

1. Wuhib F., Stadler, R., Lindgren H. Dynamic resource allocation with management objectives - Implementation for an OpenStack cloud // Network and service management, 2012 8th international conference and 2012 workshop on systems virtualization management, 2012. – С. 309-315.
2. D. Perepelkin, M. Ivanchikova. Problem of Network Traffic Classification in Multiprovider Cloud Infrastructures Based on Machine Learning Methods. Proceedings of 10th Mediterranean Conference on Embedded Computing (MECO-2021). 2021. pp. 1-4.
3. Перепелкин Д.А., Иванчикова М.А. Применение методов машинного обучения для классификации сетевого трафика в мультипровайдерных облачных инфраструктурах // Современные технологии в науке и образовании-СТНО-2021. Сборник трудов IV Международного научно-технического форума: в 10 т. Рязань, 2021. Т.3, С. 144-147.

УДК 004.3; ГРНТИ 50.09

ОБНАРУЖЕНИЕ ОШИБОК КОНФИГУРАЦИИ ЦИКЛИЧЕСКИМ ИЗБЫТОЧНЫМ КОДОМ В ПЛИС СЕМЕЙСТВА ALTERA CYCLONE IV

А.Н. Сапрыкин

*Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань, saprykin.a.n@rsreu.ru*

Аннотация. В работе описывается функция обнаружения ошибок в пользовательском режиме циклическим избыточным кодом (CRC) и рассматриваются способы восстановления после ошибок программного обеспечения для устройств семейства Cyclone IV с использованием программного обеспечения Quartus II.

Ключевые слова: циклический избыточный код, ПЛИС Cyclone IV, САПР Quartus II, одиночный сбой.

CONFIGURATION ERROR DETECTION WITH THE USE OF CYCLICAL REDUNDANCY CHECK IN FPGA ALTERA CYCLONE IV FAMILY

A.N. Saprykin

*Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,
Russia, Ryazan, saprykin.a.n@rsreu.ru*

The summary. The paper describes the error detection feature in user mode implementing cyclical redundancy check (CRC) and describes the process of recovery from soft errors for Cyclone IV family with the use of the software Quartus II.

Keywords: CRC, FPGA Cyclone IV, CAD Quartus II, SEU.

Устройства фирмы Altera семейства Cyclone IV, включая устройства Cyclone IV GX, Cyclone IV E с напряжением 1,0 В и Cyclone IV E с напряжением 1,2 В, имеют встроенную функцию обнаружения ошибок конфигурации ПЛИС. Однако в пользовательском режиме данная функция поддерживается только в устройствах Cyclone IV GX и Cyclone IV E с напряжением 1,2 В.

Специализированная схема, встроенная в устройства семейства Cyclone IV, включает в себя функцию обнаружения ошибок циклическим избыточным кодом (CRC), которая может дополнительно в автоматическом режиме непрерывно проверять наличие одиночных сбоев (SEU).

Стратегически важные программные продукты, используемые в областях телекоммуникаций, управления системами, здравоохранении и военной сфере, должны обладать следующими основными функциями:

- верификация точности данных конфигурации, хранящихся в устройстве ПЛИС;
- предупреждение системы о возникновении ошибок конфигурации.

Использование функции обнаружения ошибок для устройств семейства Cyclone IV не влияет на настройку или производительность. Она определяет, были ли повреждены данные конфигурации, полученные через внешнее запоминающее устройство, во время настройки. Для их проверки используется программное обеспечение Quartus II, применяющее функцию вычисления значения CRC для каждого блока данных конфигурации и сохраняющее найденное значение CRC как часть битового потока конфигурации.

Во время настройки устройства семейства Cyclone IV используют тот же метод для вычисления значения CRC на основе полученного блока и сравнивают его со значением CRC блока в потоке данных. Процесс проверки конфигурации продолжается до тех пор, либо пока устройство не обнаружит ошибку, либо пока не будут вычислены все значения.

В дополнение к значению CRC на основе блока программное обеспечение Quartus II генерирует 32-битное значение CRC для всего битового потока конфигурации. В конце процесса конфигурации данное 32-битное значение CRC сохраняется в 32-битном регистре ЗУ и

используется для обнаружения ошибок в пользовательском режиме. Как уже упоминалось ранее, обнаружение ошибок в пользовательском режиме доступно в только устройствах Cyclone IV GX и Cyclone IV E с напряжением 1,2 В.

Программные ошибки – это изменения битового состояния оперативной памяти конфигурации (ОЗУ конфигурации, CRAM) из-за ионизирующей частицы. Устройства семейства Cyclone IV имеют встроенную схему для обнаружения повреждений данных программными ошибками в ячейках CRAM. Эта возможность обнаружения ошибок непрерывно вычисляет CRC сконфигурированных битов CRAM на основе содержимого устройства и сравнивает его с предварительно рассчитанным значением CRC, полученным в конце конфигурации. Если CRC совпадают, в битах CRAM текущей конфигурации нет ошибки. Процесс обнаружения ошибок продолжается до тех пор, пока устройство не будет сброшено.

Функция обнаружения ошибок устройства семейства Cyclone IV не проверяет блоки памяти и буферы ввода-вывода. Эти блоки памяти устройства поддерживают биты четности, которые используются для проверки содержимого блоков памяти на наличие ошибок. Буферы ввода-вывода не проверяются, поскольку в качестве элементов хранения, более устойчивых к программным ошибкам, данные конфигурации используют триггеры. Подобные триггеры используются для хранения предварительно рассчитанного CRC и других битов схемы обнаружения ошибок.

Схема обнаружения ошибок в устройствах семейства Cyclone IV использует 32-битный CRC стандарта IEEE 802 и 32-битный полином в качестве генератора CRC. Таким образом, устройство выполняет одно 32-битное вычисление CRC. Если программная ошибка не возникает, результирующее значение 32-битной подписи равно 0x00000000, что приводит к 0 в выходном сигнале CRC_ERROR. Если в устройстве возникает программная ошибка, результирующее значение подписи не равно нулю, а выходной сигнал CRC_ERROR равен 1. Можно ввести программную ошибку, изменив 32-битный регистр хранения CRC в схеме, и после проверки вызванного сбоя восстановить 32-битное значение CRC до правильного с помощью аналогичной вставки. Прежде чем обновлять регистр с заведомо неправильным значением, рекомендуется предварительно рассчитать правильное значение.

В пользовательском режиме устройства семейства Cyclone IV поддерживают JTAG-инструкцию CHANGE_EDREG, которая позволяет выполнять запись в 32-битный регистр хранения. Для автоматизации процесса тестирования и проверки возможно использование файлов .jam. Данная конструктивная функция доступна только тогда, когда устройство находится в пользовательском режиме. Она позволяет динамически проверять функциональность CRC в системе без необходимости перенастраивать устройство. После неё для проверки реальных ошибок, вызванных одиночными сбоями, используется схема CRC.

Устройства семейства Cyclone IV предлагают встроенную схему для автоматической проверки обнаружения одиночных сбоев. Устройства, требующие безошибочной работы на больших высотах или в непосредственной близости от северного или южного полюсов Земли, нуждаются в периодических проверках для обеспечения постоянной целостности данных. Функция обнаружения ошибок циклическим избыточным кодом использует 32-битную схему CRC для обеспечения надежности данных и является одним из лучших вариантов для сведения количества одиночных сбоев к минимуму.

В устройствах семейства Cyclone IV данная функция может быть реализована существующей схемой, избавляя от необходимости во внешней логике. Значения CRC вычисляются устройством во время настройки и сверяются с автоматически вычисляемыми данными CRC во время штатной работы. Вывод CRC_ERROR сообщает о программной ошибке, когда данные конфигурации CRAM повреждены. В таком случае пользователю необходимо принять решение, следует ли переконфигурировать ПЛИС или игнорировать ошибку.

Для отслеживания результатов работы схемы обнаружения ошибок в пользовательском режиме требуется специальный вывод обнаружения ошибок CRC_ERROR. Он представляет собой либо выделенный выход, либо выход с открытым стоком. По умолчанию программное обеспечение Quartus II устанавливает вывод CRC_ERROR в качестве выделенного выхода. В таком случае необходимо убедиться, что значение блока памяти, в котором находится контакт, соответствует спецификации входного напряжения системы, принимающей сигнал. При желании возможно настроить этот вывод как выход с открытым стоком, включив эту опцию в программном обеспечении Quartus II на вкладке Error Detection CRC диалогового окна Device and Pin Options.

В схеме обнаружения ошибок имеется два набора 32-битных регистров, в которых хранятся вычисленная контрольная сигнатура CRC и предварительно вычисленное значение CRC. Ненулевое значение в регистре подписи приводит к тому, что на выводе CRC_ERROR устанавливается высокий уровень. На рисунке 1 показана блок-схема блока обнаружения ошибок и двух связанных 32-битных регистров: сигнатурного регистра и регистра ЗУ.

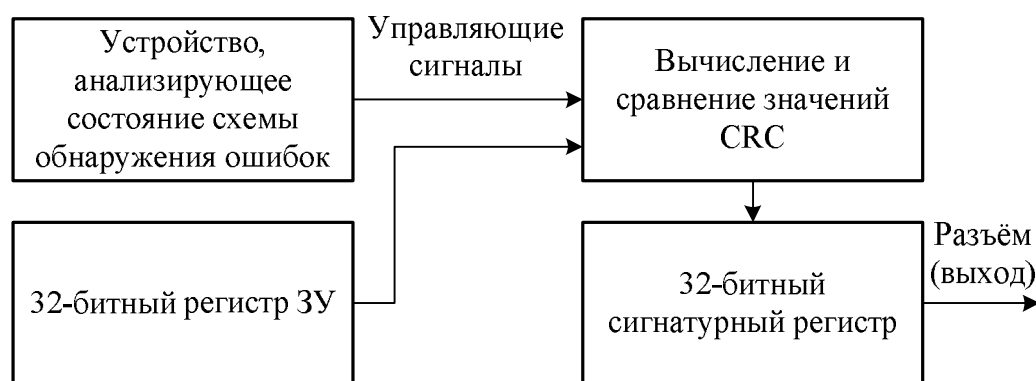


Рис. 1. Диаграмма системы обнаружения ошибок

32-битный сигнатурный регистр содержит сигнатуру CRC и результат сравнения значения CRC, рассчитанного в пользовательском режиме, с предварительно рассчитанным. Если ошибок не обнаружено, в сигнатурном регистре остаются нули. Ненулевой регистр подписи указывает на ошибку в содержимом конфигурации CRAM. Сигнал CRC_ERROR выводится из содержимого этого регистра.

32-битный регистр ЗУ загружается с 32-битной предварительно вычисленной подписью CRC в конце этапа конфигурации. Затем подпись загружается в 32-битную схему CRC (называемую блоком вычисления и сравнения значений CRC, как показано на рисунке 1) в пользовательском режиме для проверки на наличие ошибок. Данный регистр формирует 32-битную цепь сканирования во время выполнения JTAG-инструкции CHANGE_EDREG; данная инструкция может изменить содержимое регистра ЗУ. Таким образом, функциональность схемы обнаружения ошибок проверяется в системе путем выполнения инструкции по вводу ошибки во время операции. На время её выполнения работа устройства не останавливается.

Библиографический список

1. Глазков, В.В. Программируемые логические интегральные схемы фирмы Altera: учебное пособие / В.В. Глазков. – Москва: Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана, 2014. – 136 с. – ISBN 978-5-7038-3839-6. – Текст: электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART: [сайт]. – URL: <https://www.iprbookshop.ru/31617.html> (дата обращения: 14.03.2022).

2. Ефремов Н.В. Введение в систему автоматизированного проектирования Quartus II: учеб. пособие. – М.: ГОУ ВПО МГУЛ, 2011. – 147 с.

3. Пухальский, Г.И. Проектирование цифровых устройств: учебное пособие / Г.И. Пухальский, Т.Я. Новосельцева. – Санкт-Петербург: Лань, 2021. – 896 с. – ISBN 978-5-8114-1265-5. – Текст : электронный // Лань: электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/168881> (дата обращения: 14.03.2022).

4. Харрис Сара Л. Цифровая схемотехника и архитектура компьютера / Харрис Сара Л., Харрис Дэвид М. // М.: ДМК Пресс. – 2018. – 792 с.

СЕКЦИЯ «ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ И ЗАЩИТА ИНФОРМАЦИИ»

УДК 621.311; ГРНТИ 81.93.29

МОДЕРНИЗАЦИЯ АЛГОРИТМА ВОДЯНОГО ЗНАКА ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ ОБЪЕКТОВ НА ОСНОВЕ КЛАСТЕРОВ И ВОСПРИЯТИЙ

П.М. Шоназаров, Ф.Т. Холов

*Южно-Уральский государственный университет,
Российская Федерация, Челябинск, shonazarov1991@gmail.com
Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники
Российская Федерация, Томск, fozil_1990-90@mail.ru*

Аннотация. С момента своего появления IoT (Интернет вещей) пользуется активной поддержкой со стороны правительств и исследовательских институтов по всему миру, и были достигнуты замечательные достижения. Слой восприятия IoT играет важную роль в качестве связующего звена между IoT и реальным миром; безопасность стала узким местом, сдерживающим дальнейшее развитие IoT. Уровень восприятия представляет собой самоорганизующуюся сетевую систему, состоящую из различных сенсорных узлов с ограниченными ресурсами посредством беспроводной связи. Соответственно, дорогостоящий механизм шифрования не может быть применен к уровню восприятия. Анализ безопасности и результаты моделирования показывают, что предложенная схема может эффективно обеспечивать целостность данных при низких затратах. уязвимости безопасности, связанные с фиксированной позицией встраивания, могут быть не только эффективно устранены, но и обеспечивают нулевое воздействие на данные. Анализ безопасности и результаты моделирования показывают, что предложенная схема может эффективно обеспечивать целостность данных при низких затратах.

Ключевые слова: Интернет вещей, IoT, цифровая маркировка, цифровые водяные знаки, безопасность, передача данных, множественная маршрутизация, алгоритм кластеризации, временная динамика.

UPGRADING THE WATERMARK ALGORITHM TO IMPROVE OBJECTS BASED ON CLUSTERS AND PERCEPTIONS

P.M. Shonazarov, F.T. Kholov

*South State Ural University, Russian Federation, Chelyabinsk, shonazarov1991@gmail.com
State University of Control Systems and Radioelectronics, Tomsk, fozil_1990-90@mail.ru*

Abstract. Since its advent, the IoT (Internet of Things) has been actively supported by governments and research institutions around the world, and remarkable achievements have been made. The IoT perception layer plays an important role as a link between the IoT and the real world; security has become a bottleneck holding back the further development of the IoT. The perception layer is a self-organizing network system consisting of various sensor nodes with limited resources via wireless communication. Accordingly, an expensive encryption mechanism cannot be applied to the perceptual layer. The security analysis and simulation results show that the proposed scheme can effectively ensure data integrity at low cost. The security vulnerabilities associated with the fixed embedding position can not only be effectively eliminated, but also provide zero impact on data. The security analysis and simulation results show that the proposed scheme can effectively ensure data integrity at low cost.

Keywords: Internet of Things, IoT, digital marking, digital watermarking, security, data transmission, multiple routing, clustering algorithm, temporal dynamics..

В связи с быстрым развитием компьютерных технологий, встроенных технологий, Интернета и сетей мобильной связи IoT появился в исторический момент. Основной характеристикой IoT является всестороннее восприятие, надежная передача и интеллектуальная обработка информации, а ключом является реализация информационного взаимодействия между человеком и вещами или вещами и вещами [1]. С момента своего появления IoT вызвал большой резонанс во всем мире, поскольку для поддержки исследований было вложено

много человеческих и материальных ресурсов, и были достигнуты замечательные достижения. Стремительный рост IoT вызвал большие изменения в отрасли, которую считают третьей волной мировой информационной индустрии после компьютеров и Интернета [2]. Китайская ассоциация стандартов связи (CCSA) определяет архитектуру IoT как уровень восприятия, сетевой уровень и прикладной уровень [3], как показано на рисунке 1 .Уровень восприятия состоит из датчиков, считывателя RFID, веб-камеры и смартфона, который используется для восприятия и сбора информации об объектах и окружающей среде. Сетевой уровень состоит из Интернета и беспроводной сети, такой как 2G, 3G, 4G, и спутниковой сети, которая отвечает за передачу полученных данных на прикладной уровень. Уровень приложений состоит из платформы приложений и поддерживающей платформы, такой как распределенные параллельные вычисления, интеллектуальный анализ данных и облачные вычисления. Поддерживающая платформа предоставляет функции для конкретного приложения, такие как обработка данных, хранение данных и управление безопасностью. Приложение IoT широко используется в умном городе, телемедицине, умном доме и других областях.

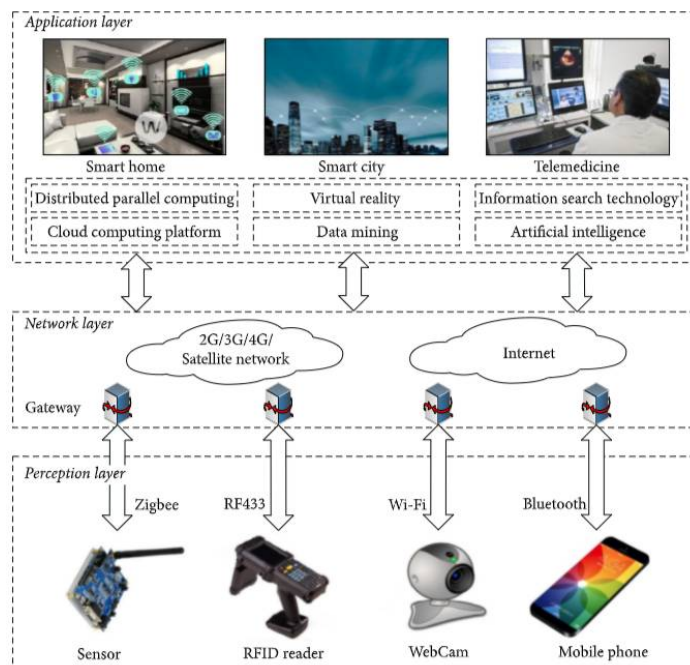


Рис. 1. Архитектура Интернета вещей

И сетевой уровень, и прикладной уровень используют зрелую технологию, которая обеспечивает безопасность полученных данных. Однако слой восприятия, состоящий из простых узлов, столкнется с серьезными проблемами безопасности, что привлекает внимание большинства ученых. Основной функцией слоя восприятия является восприятие информации. Восприятие информации является основой приложений IoT, которые предоставляют информацию из физического мира, поэтому уровень восприятия стал основной задачей исследований, связанных с IoT. Механизм связи уровня восприятия IoT показан на рисунке 2 .. Информация о восприятии играет ключевую роль в качестве связующего звена между IoT и реальным миром. Он состоит из данных о восприятии и данных о местоположении. Раскрытие данных о восприятии может привести к раскрытию важной информации по всей сети, что приведет к неизмеримым последствиям. В этой статье мы в основном рассматриваем защиту данных восприятия и рассматриваем беспроводные сенсорные сети (WSN) как уровень восприятия IoT. WSN самоорганизуются большим

количеством микродатчиков с ограниченной вычислительной мощностью и небольшим зарядом батареи для формирования самоорганизующейся сети беспроводной связи. Данные датчиков собираются с узлов датчиков и отправляются на узел-приемник с помощью многоступенчатой ретрансляции. Узел-приемник обрабатывает перцептивные данные и отправляет их на прикладной уровень через сетевой уровень. По сравнению с другими сенсорными узлами,4].

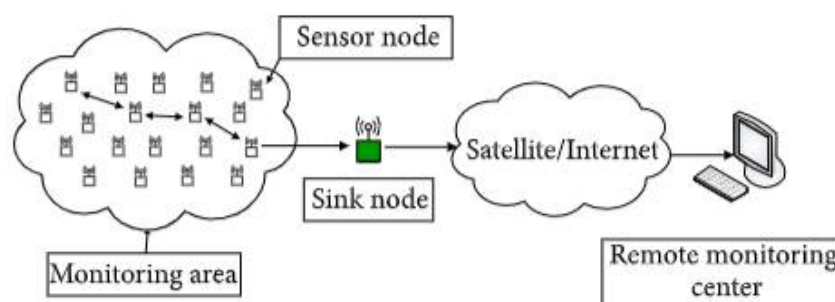


Рис. 2. Коммуникационный механизм слоя восприятия IoT

В этой статье мы в основном рассматриваем защиту данных восприятия и беспроводные сенсорные сети (WSN) как уровень восприятия IoT. Беспроводные сенсорные сети организованы большим количеством микродатчиков с ограниченной вычислительной мощностью и малым зарядом батареи для формирования самоорганизующейся сети в беспроводной связи. Предложенный алгоритм водяного знака обеспечивает целостность данных и может эффективно предотвращать различные атаки, вызванные вредоносными узлами. Кроме того, предложенный алгоритм эффективно решает недостатки существующих технологий, такие как энергопотребления. Данный алгоритм сохраняет больше энергии, чем алгоритмы LSB и MultiMark, и повышает эффективность аутентификации и безопасность, но и обеспечивает обратимое извлечение водяного знака.

Одной из наиболее важных проблем в области IoT являются ограничения ресурсов, такие как источник питания, вычислительная мощность, объем памяти, диапазон беспроводной связи и ширина полосы беспроводной связи. Беспроводная маршрутизация с низкой пропускной способностью требует нескольких шагов маршрутизации для достижения пункта назначения. Низкая вычислительная мощность и ограничения памяти на устройствах IoT требуют максимально возможной оптимизации процесса маршрутизации. Низкая пропускная способность связи создает ограничение, что размер прямых пакетов должен быть небольшим. Из-за дефицита энергоснабжения будет трудно решить, какой узел двигаться дальше, потому что беспроводная связь будет определять потребление энергии устройствами IoT [8-9]. На рис. 1. показана структура мониторинга энергии на основе Интернета вещей. Уровень восприятия также указывается в этой форме. Этот простой уровень узлов сталкивается с серьезными проблемами безопасности, которые привлекают внимание большинства исследователей. Главной особенностью функция уровня восприятия состоит в том, чтобы понимать информацию. Восприятие информации основано на приложениях IoT, которые генерируют информацию из физического мира. Таким образом, уровень восприятия является основной проблемой в области IoT.



Рис. 3. Структура IoT на уровне восприятия

1. Технология цифровых водяных знаков

Информация о восприятии играет важную роль в качестве связующего звена между IoT и реальным миром, состоящим из данных о восприятии и данных о местоположении. Раскрытие данных о восприятии может привести к раскрытию важной информации по всей сети, что приведет к непоправимым последствиям. Чтобы устранить недостатки традиционных методов аутентификации интеграции данных, исследователи внедрили технологию цифровых водяных знаков (ЦВЗ) в WSN для защиты целостности данных [9]. Технология ЦВЗ широко используется для защиты информации об авторских правах и интеграции контента цифровых мультимедийных произведений (изображений, аудио и видео и т.д.) [10]. По сравнению с традиционной технологией шифрования технология ЦВЗ имеет четыре преимущества:

1. ЦВЗ использует легкие вычисления, что приводит к низкому энергопотреблению;
2. Информация о водяных знаках напрямую интегрируется в данные несущей без дополнительных затрат на сетевую связь и емкость хранилища узлов в WSN;
3. Методы шифрования теряют свое действие после дешифрования, но ЦВЗ остаются как неотъемлемой частью носителя и всегда могут гарантировать безопасность данных [11-15];
4. Технология ЦВЗ может значительно уменьшить сквозную задержку, вызванную технологией шифрования.

Эта статья также использует кластеризацию для сенсорной сети. Кластеризация относится к группированию выборок или наблюдений в классы похожих объектов. Кластер — это набор выборок, которые похожи друг на друга и отличаются от других выборок кластера. Кластеризация не пытается прогнозировать, оценивать или классифицировать выборки. Вместо этого алгоритмы кластеризации стремятся разбить все выборки на подгруппы или кластеры так, чтобы сходство между выборками в максимальном кластере и сходство с выборками в другом кластере было минимальным.

Кластеризация важна для интеллектуального анализа данных, группировки, принятия решений и машинного обучения, включая интеллектуальный анализ данных, поиск информации, сегментацию изображений и классификацию шаблонов. Кроме того, в тех случаях, когда базовых знаний о данных и принятии решений (статистических моделях) мало, кластеризация может дать предположения о данных.

Следует отметить, что кластеризация процессов является тематической в том смысле, что сходные наборы данных для разных задач часто классифицируются как разные кластеры. Это делает кластеризацию сложной проблемой, и поэтому только один алгоритм не подходит для решения каждой проблемы кластеризации. Кластеризация также может использоваться в качестве шага предварительной обработки для извлечения классов шаблонов.

Благодаря функциям контратати, цифровую маркировку можно разделить на хрупкую маркировку и стойкую маркировку [16]. Хрупкая маркировка не устойчива к изменениям и может использоваться для защиты авторских прав. Хрупкая маркировка очень чувствительна к манипуляциям, и любое изменение в носителе может привести к неадекватной маркировке,

которая может быть использована для проверки данных [17]. В этой статье мы представляем хрупкую технику маркировки. Предложенный алгоритм динамически вычисляет внедренную позицию сигнала, используя время сбора данных от узлов датчиков, что не только повышает безопасность, но также экономит энергию и проверку данных в реальном времени.

2. Предлагаемая схема

В данной работе предлагается новая стратегия защиты целостности данных WSN, основанная на ненадежных цифровых водяных знаках, для защиты воспринятых данных от вышеуказанных четырех категорий моделей атак. Предлагаемый алгоритм использует характеристику, согласно которой хрупкие водяные знаки чувствительны к модификации. После изменения данных хоста водяной знак уничтожается. Злоумышленник без предварительного знания алгоритмов водяных знаков не может эффективно восстановить реальные данные. Фальсификация данных и подделка данных похожи, что можно рассматривать как вредоносные данные, сгенерированные вредоносными узлами. Вредоносные данные, сгенерированные вредоносным узлом, не могут быть проверены алгоритмом водяных знаков после достижения узла-приемника. Предлагаемый алгоритм вводит порядковый номер пакета, который используется для позиционирования добавленного пакета или удаленного пакета.

Предлагаемый алгоритм водяных знаков включает в себя три процесса, а именно: создание цифрового водяного знака, встраивание цифрового водяного знака и извлечение цифрового водяного знака, как показано на рисунке 3. Во-первых, каждый сенсорный узел собирает сенсорные данные и генерирует цифровой водяной знак в соответствии с алгоритмом хрупкого водяного знака. Во-вторых, водяной знак объединяется с считанными данными в соответствии с предопределенным правилом для формирования пакета данных, который передается на узел-приемник через передающий узел. Пакет может страдать от ненадежной передачи и подвергаться различным видам атак. В-третьих, узел-приемник получает данные, а затем извлекает водяной знак и восстанавливает полученные данные в соответствии с заранее определенным правилом. Восстановленные данные используются для создания водяного знака по тому же алгоритму. Целостность данных проверяется путем сравнения восстановленного водяного знака и извлеченного водяного знака. Если регенерированный водяной знак не совпадает с извлеченным водяным знаком, то считается, что данные изменены во время передачи. Иначе, данные оказались в безопасности. Цифровой водяной знак копируется вместе с копией цифрового носителя, и процесс скрыт. Если предопределенный метод неизвестен, цифровой водяной знак трудно обнаружить.

3. Результаты моделирования

Моделирование было проведено в среде MathLab 2017a. Результаты моделирования показаны на рис. 4. Этот рисунок наглядно демонстрирует превосходство предложенного алгоритма с точки зрения пропускной способности по сравнению с методами Multi-Marker и LSB. Встраивание с самой низкой разметкой битов (LSB), представленное в [19-20], не только ограничивает емкость встраивания, но также нарушает целостность данных, что крайне опасно для высокоточных приложений. Метод множественных меток в [18] может гарантировать точность данных, но количество пустых символов ограничено, что ограничивает емкость разметки.

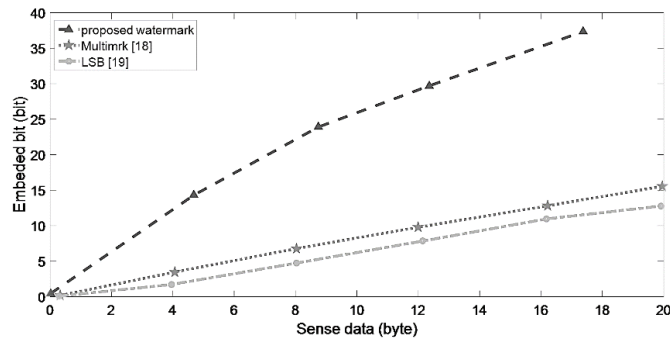


Рис. 4. Водяной знак встроенной емкости

На рисунке 5. показана диаграмма энергопотребления, которая четко показывает, что предлагаемый алгоритм сохраняет больше энергии, чем алгоритмы LSB и MultiMark.

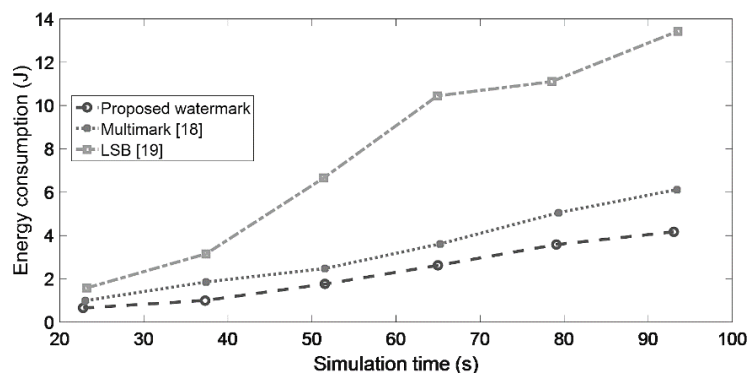


Рис. 5. Диаграмма энергопотребления

Заключение

В этой статье представлен усовершенствованный алгоритм цифровой разметки, а также новый алгоритм кластеризации для интеграции данных уровня восприятия IoT и улучшения энергопотребления и времени жизни сети. Предложенный алгоритм может эффективно предотвращать различные атаки, такие как спуфинговые атаки, атаки с пересылкой пакетов, атаки с манипулированием пакетами, атаки с повторением пакетов и атаки с задержкой пакетов из-за вредоносных узлов. Кроме того, предлагаемый алгоритм эффективно устраняет недостатки существующих технологий. Это не только упрощает вычислительную сложность и повышает эффективность и безопасность, но также обеспечивает обратимое извлечение из маркировки и поиска без данных.

Библиографический список

1. K. F. Tolibovich, S. A. Aleksandrovich and S. P. Mahmadnazarovich, "A New Algorithm Watermark for Improving Objects Based on Clusters and Perceptions," 2020 Ural Symposium on Biomedical Engineering, Radioelectronics and Information Technology (USBEREIT), 2020, pp. 520-523.
2. Ali D., Salil S.K., Raja J., Praveen G. Blockchain for IoT Security and Privacy: The Case Study of a Smart Home // 2ND IEEE PERCOM Workshop on Security Privacy and Trust in The Internet of Things 2017.
3. Ali D. Towards an Optimized BlockChain for IoT // IoTDI 2017, April 2017.
4. Li Y., Zhiduo S., Liang H., Ning M. Fuzzy Compre-hensive Evaluation Method for Energy Management Systems Based on an Internet of Things: IEEE, 2. P. 345-349.
5. Yuan D. Instrumenting Wireless Sensor Networks A survey on the metrics that matter // Pervasive and Mobile Com-puting, 37. P. 45-62.
6. Lee I., Lee K. The Internet of Things (IoT) // Applica-tions, investments, and challenges for enterprises: Business Horizons, 58. P. 431-440.

7. Jeba N., Kamala V. A Survey on Routing Protocols for Internet of Things: power, 3. P. 132–142.
8. Roselli L., et al. Review of the present technologies concurrently contributing to the implementation of the Internet of Things (IoT) paradigm: RFID // Green Electronics, WPT and Energy Harvesting: in Wireless Sensors and Sensor Networks (WiSNet), 2015 IEEE Topical Conference on, 5. P. 1–3.
9. Maghfur H. A state-of-the-art review on the Internet of Things (IoT) // Buletin Inovasi ICT & Ilmu Komputer, 2. P. 456–463.
10. Maha B., Abderrezak R. A survey on mobility management protocols in Wireless Sensor Networks based on 6LoWPAN technology // Computer Communications, 15. P. 678–684.
11. Truong C., Romer K. Efficient geocasting to multiple regions in large-scale wireless sensor networks: in Local Computer Networks // IEEE 37th Conference on, 13. P. 453–461.
12. Fei C., Kundur D., Kwong R.H. Analysis and design of secure watermark-based authentication systems // IEEE Transactions on Information Forensics and Security. 2006. Vol. 1, no. 1. P. 43–55.
13. Cox I., Miller M., Bloom J., Fridrich J. Digital Watermarking and Steganography, Morgan Kaufmann, 2007.
14. Luis P.F., Pedro C., et al. Watermarking Security: A Survey, Transactions on Data Hiding and Multimedia Security I, Springer, Berlin Heidelberg, 2006.
15. Li W., Song H., Zeng F., Policy-based secure and trustworthy sensing for internet of things in smart cities // IEEE Internet of Things Journal. 2017. Vol. PP, no. 99. P. 1–1.
16. Li W., Song H., ART: an attack-resistant trust management scheme for securing vehicular ad hoc networks // IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems. 2016. Vol. 17, no. 4. P. 960–969.
17. Anbuchelian S., Lokesh S., Baskaran M. Improving security in Wireless Sensor Network using trust and meta-heuristic algorithms // Proceedings of the 3rd International Conference on Computer and Information Sciences, IC-COINS 2016. P. 233–241.
18. Feng J., Potkonjak M. Real-time watermarking techniques for sensor networks // Proceedings of the Security and Watermarking of Multimedia Contents. 2003. V, P. 391–402.
19. Guo H., Li Y., Jajodia S. Chaining watermarks for detecting malicious modifications to streaming data // Information Sciences. 2007. Vol. 177, no. 1. P. 281–298.
20. Kamel I., Juma H. Simplified watermarking scheme for sensor networks // International Journal of Internet Protocol Technology. 2010. Vol. 5, no. 1–2. P. 101–111.

УДК 004.056; ГРНТИ 81.93.29

УЯЗВИМОСТИ СМАРТ-КОНТРАКТОВ

Ю.М. Кузьмин, А.С. Попов*, Д.А. Курицин**

Рязанский государственный университет имени В. Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань, *granlum@yandex.ru, **d.krt0@yandex.ru

Аннотация. В статье рассматриваются уязвимости смарт-контрактов.

Ключевые слова: смарт-контракт, блокчейн, угроза, безопасность, нарушение безопасности.

VULNERABILITIES OF SMART CONTRACTS

Y.M. Kuzmin, A.S. Popov*, D.A. Kuritsin**

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 vulnerabilities of smart contracts.

Keywords: smart contract, blockchain, threat, security, security breach.

Смарт-контракты — это программы, наиболее распространенные в распределенном реестре и поддерживающие некоторый код, написанный в них в ответ на адресованные им запросы. Смарт-контракты, которые управляют ценными ресурсами (активами), требуют высокой защиты от атак, связанных с хищением средств или выводом контрактов из строя.

Проблемы с безопасностью подобных контрактов:

- смарт-контракты работают с финансовыми активами;
- ошибки в смарт-контрактах не могут быть исправлены по причине особенностей в создании;

- отложенные изменения, созданные мошенническими транзакциями контракта, не могут быть отменены.

Обобщая причины, приведшие к повышенной концентрации смарт-контрактов в сети, первопричиной можно признать непонимание разработчиками реальной семантики платформы. В своей работе по атакам на смарт-контракты Атцеи, Бартолетти и Кимоли [3] предложили свою систематизацию уязвимостей контрактов, разделив все уязвимости на три уровня:

- уровень языка Solidity,
- уровень EVM
- уровень блокчейна.

Уровень языка Solidity

Поскольку именно по коду контракта выявляются его уязвимости, написание безопасного относительно атак кода является серьезной и наиболее важной задачей перед размещением контракта в сети.

Косвенное выполнение неизвестного кода

Косвенность обуславливается наличием в смарт-контрактах особенности, о которой говорилось в первой части статьи — fallback функции. Есть несколько причин, из-за которых возможен вызов данной функции:

- вызов через ABI функций другого контракта: если в строке подписи, переданной для кодирования, опечатки или функции с такой подписью не существует, то будет вызываться резервная функция;
- пополнение счета другого контракта порождает вызов его резервной функции; вызов через API другой функции контракта: если разработчик сделал ошибку при объявлении вызываемого контракта (например, ошибка в типе какого-то параметра), то будет вызвана резервная функция.

Повторный вход

Как упоминалось ранее, в Ethereum вызовы функций других контрактов выполняются синхронно, т. е. вызывающий код ожидает завершения вызываемых функций, прежде чем его выполнение будет завершено. Такая особенность может быть обнаружена при выявлении предварительного оповещения о вызове контракта. Такая ситуация не всегда проявляется при разработке, если только она не выявляется в связи с возможными мошенническими действиями со стороны вызываемого контракта.

Рассмотрим следующий простой пример. Допустим, что в блокчейне есть уязвимый контракт VulnerableContract (рисунок 1).

```
6 contract VulnerableContract {
7     mapping (address => bool) sentTo;
8
9     constructor() public payable {}
10
11     function pay(address payable recipient) public payable {
12         if (!didAlreadySendTo(recipient)) {
13             recipient.call.value(10)('');
14
15             sentTo[recipient] = true;
16         }
17     }
18
19     function didAlreadySendTo(address recipient) private view returns(bool) {
20         return sentTo[recipient];
21     }
22 }
```

Рис. 1. Повторный вход. Пример.VulnerableContract

Такой контракт пополняет баланс пользователя на 10 wei один раз и записывает его адрес в переменную, чтобы избежать повторного пополнения. При каждом последующем вызове этой функции контракт проверяет, не пополнялся ли ранее баланс по этому адресу, и в этом случае пополнения не происходит. Чтобы украсть все имеющиеся на таком контракте wei, достаточно повторно войти в платежную функцию до того, как адрес будет записан в переменную. Так как функция вызова используется для пополнения, повторный вход можно осуществить, прописав соответствующую логику в функции fallback мошеннического контракта. Для успешной атаки необходимо разместить такой контракт в сети и вызвать функцию оплаты контракта `VulnerableContract`, передав в качестве аргумента адрес мошеннического контракта.

Уровень EVM

Неизменяемость кода контракта

Невозможность внести изменения в код смарт-контракта не только повышает доверие пользователей к сети, но и также является проблемой, когда ошибка, допущенная при создании контракта, становится уязвимостью, которую невозможно устранить и остается в контракте навсегда.

Это означает, что еще на этапе разработки и проектирования контракта разработчики должны позаботиться о способах изменения логики контракта или провести аудит и выявить всевозможные угрозы, чтобы устранить их до публикации контракта в сети.

В качестве примера использования неизменности кода можно привести смарт-контракт `Rubixi`. Этот сервис представлял собой финансовую пирамиду, и в его смарт-контракте владелец всегда мог перевести на себя сборы, накопленные в пирамиде. Владелец задается в конструкторе контракта при его создании, в смарт-контракте `Rubixi` также был применен данный подход. Синтаксис языка `Solidity` в версиях до 0.4.22 определял конструктор как функцию, название которой совпадало с именем контракта. В определенный имя контракта было изменено с `DynamicPyramid` на `Rubixi`, но разработчик не внес изменения в имя конструктора и любой, кто обращался к функции `DynamicPyramid()`, становился владельцем несобственного контракта и переводил накопленные средства себе.

Виртуальная машина `Ethereum` имеет ограничение максимального размера стека вызовов – 1024. Это ограничение может использоваться злоумышленником следующим образом. Перед вызовом функции какого-либо контракта можно увеличить размер стека до 1022 вложенными вызовами собственных функций. В данной ситуации при выполнении кода контракта-жертвы вызов следующей функции вызовет исключение. Если в контракте не предусмотрена обработка исключений, то атака злоумышленника успешно выполнится.

Однако 18 октября 2016 разработчики платформы внесли изменения в контракт, и данный не получится использовать таким образом, так как газ в любом случае закончится до того, как стек достигнет своего лимита.

Уровень блокчейна

Непредсказуемость состояния контракта

Переменные контракта определяют состояние контракта и изменяются путем вызова его функций. Вызов функции смарт-контракта — это такая же транзакция, как и любая другая. После процесса сборки очередного блока в сети происходит подтверждение накопленных транзакций. Из этого следует, что пользователь при отправке транзакции, для вызова функции контракта, не может быть уверен, что она будет исполнена в том же состоянии контракта, в котором он находился в момент отправки. Это может произойти из-за того, что другие транзакции в том же блоке изменили состояние контракта. Более того, у обработчиков

блоков есть некоторая свобода в порядке обработки транзакций при формировании блока, а также в принятии решения о включении той или иной транзакции в блок. В некоторых случаях невозможность определить состояние контракта, в котором будет выполняться транзакция, может привести к уязвимости самого контракта. Также становится особенно опасно взаимодействовать с контрактами, написанными таким образом, что их поведение может быть изменено с течением времени.

Временная составляющая

Иногда логика смарт-контрактов может зависеть от времени. Время для контракта есть только в контексте транзакции. Метка времени транзакции, в свою очередь, равна метке блока, в который она входит. Таким образом, контракт согласован с состоянием, но это также подразумевает возможность майнера использовать свое положение в силу свободы ставить временную метку блока. Для майнера это преимущество перед другими видами контрактов, которое он может использовать для вывода той или иной выгоды.

Подводя итог, можно сделать вывод, что хотя технология блокчейн и наделена такими важными составляющими как безопасность и анонимность, что и принесло ей такую глобальную популярность, программируемость некоторых блокчейн платформ вносит в сеть проблему человеческого фактора, что неизбежно ведет к снижению абсолютной безопасности таких платформ в большей части относительно сохранности ценных активов пользователей.

I. Atzei N., Bartoletti M., Cimoli T. A survey of attacks on ethereum smart contracts (sok). International Conference on Principles of Security and Trust.— Springer, Berlin, Heidelberg; 2017:164–186.

УДК 004.056; ГРНТИ 81.93.29

ПРОВЕДЕНИЕ ТЕСТИРОВАНИЯ НА УЯЗВИМОСТЬ В СООТВЕТСТВИИ С ГОСТ Р 58142-2018 И ГОСТ Р 58134-2018

Е.М. Бабанова, Ю.М. Кузьмин

*Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань, babanova.lena2011@yandex.ru*

Аннотация. В работе рассматриваются технические и юридические аспекты проведения тестирования на уязвимость, в соответствии с современными требованиями регуляторов информационной безопасности.

Ключевые слова: Информационная безопасность, уязвимости, угрозы, тестирование на уязвимость, пентест.

CONDUCTING VULNERABILITY TESTING IN ACCORDANCE WITH GOST R 58142-2018 AND GOST R 58134-2018

E.M. Babanova, Y.M. Kuzmin

*Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,
Russia, Ryazan, babanova.lena2011@yandex.ru*

The summary. The paper discusses the technical and legal aspects of vulnerability testing, in accordance with the modern requirements of information security regulators.

Keywords: Information security, vulnerabilities, threats, vulnerability testing, pentest.

В последнее несколько лет в связи с развитием информационных технологий и участвовавшими случаями мошенничества Центральный Банк Российской Федерации начал ужесточать требования в области обеспечения информационной безопасности при проведении

финансовых операций. Вначале было принято Положение №683-П «Об установлении обязательных для кредитных организаций требований к обеспечению защиты информации при осуществлении банковской деятельности в целях противодействия осуществлению переводов денежных средств без согласия клиента» от 17.04.2019 г. В п 3.2. говорится, что «кредитные организации должны обеспечить ежегодное тестирование на проникновение и анализ уязвимостей информационной безопасности объектов информационной инфраструктуры с 1 января 2020».

Одновременно с этим документом Центральный Банк Российской Федерации опубликовал Положение №684-п, в котором установил такие же требования, только уже для некредитных финансовых организаций.

Следующим шагом Банк России опубликовал Положение №719-п о «О требованиях к обеспечению защиты информации при осуществлении переводов денежных средств и о порядке осуществления Банком России контроля за соблюдением требований к обеспечению защиты информации при осуществлении переводов денежных средств», в котором в пункте 4.4 Главы IV обязал операторов услуг информационного обмена «проходить оценку соответствия защиты информации не реже одного раза в год с 1 января 2022 года» и «обеспечить уровень соответствия не ниже четвертого согласно ГОСТ Р 57580.2-2018 с 2023 года».

В связи с этим возник спрос на новых квалифицированных сотрудников, владеющими навыками тестирования на проникновения не только со знаниями актуальных технологий, но также и в соответствии с государственными стандартами в сфере защиты информации.

Проведение тестирования согласно ГОСТ Р 58142-2018 ч.1

В данном документе определяется порядок проведения тестирования на уязвимость согласно этапам: «

- AVA_VAN.1 «Обзор уязвимостей» (ГОСТ Р ИСО/МЭК 15408-3. пункт 15.2.3);
- AVA_VAN.2 «Анализ уязвимостей» (ГОСТ Р ИСО/МЭК 15408-3. пункт 15.2.4);
- AVA_VAN.3 «Фокусированный анализ уязвимостей» (ГОСТ Р ИСО/МЭК 15408-3. пункт 15.2.5);
- AVA_VAN.4 «Методический анализ уязвимостей» (ГОСТ Р ИСО/МЭК 15408-3. пункт 15.2.6);
- AVA_VAN.5 «Усиленный методический анализ» (ГОСТ Р ИСО/МЭК 15408-3. пункт 15.2.7).»

На этапе «Обзор уязвимостей» производится общая оценка объекта на пригодность к тестированию, сбор информации (например, поиск фрагментов кода внутренних приложений в открытых источниках, а также проводится тестирование на проникновение при использовании уже известных уязвимостей. Для данных целей используют различные сканеры уязвимостей, например, широкоизвестный Metasploit, программный комплекс который позволяет в автоматическом режиме сразу определить уязвимости. В нем интегрирован модуль «Nexpose», который проводит проактивное сканирование инфраструктуры организации. Модуль такие сканирует открытые порты, запущенные службы на каждом из хостов, и методом сигнатурного анализа выявляет содержащиеся в базе уязвимости.

На следующем этапе «Анализ уязвимостей» проводится исследование полученных уязвимостей на предмет возможности их реализации. Для этого в том же модуле «Nexpose» можно на панели быстрых задач нажать кнопку «Exploit», и программа в автоматическом режиме постарается воспользоваться известными эксплойтами. Уже на этом этапе можно провести отсев потенциальных угроз на возможность их реализации.

Дальнейшие этапы проходят по тому же принципу. При этом на каждом из этапов, начиная с первого, оценщик повышает уровень потенциала нападения по уровням «Базо-

вый», «Усиленный базовый», «Умеренный» и «Высокий». На четвертом этапе «Методический анализ уязвимостей» оценщик проводит все те же действия, только уже подробно изучая документацию, внутренние документы, содержащие сведения об архитектуре, установленных системах защиты.

Сбор информации

Используемые для поиска на первом этапе специфичной информации (об оцениваемой организации) привычные методы редко являются результативными. Однако, при использовании спецификаторов можно настроить более точный поиск. «site:url-адрес» позволяют выполнить поиск по одному сайту, а если добавить к запросу «file:формат документа», то данный запрос выведет все документы нужного формата, содержащиеся на сайте. Такой способ позволяет собрать лишь общую информацию, возможно получить какую-то информацию об устройстве компании, времени работы или другом. При проведении оценки обязательно понадобится информация о какой-либо технической части, например, о сервере, на котором находится корпоративный сайт.

Для того, чтобы узнать технические подробности, такие как адрес dns-сервера, целевое ПО, версии ОС сервера, можно использовать следующие утилиты и сервисы:

- Netcraft;
- whois (из дистрибутива Linux);
- nslookup.

В дополнении к ним можно использовать средства автоматизированного сбора информации:

- FOCA;
- google-mail (для поиска информации о почтовых адресах);
- recon-ng.

При этом сбор данных целесообразно проводить не только среди доступных в настоящее время, но и среди ранее опубликованной информации. Например, сайт archive.org собирает раз в некоторое время копии сайтов, и при его использовании можно найти информацию, опубликованную компанией несколько лет назад, но содержащую критичные для информационной безопасности сведения, например пароли от почтовых сервисов, содержащиеся в коде сайта.

Инструменты сканирования

При определении открытых портов хоста не ограничиваются только Metasploit, например, используют утилиту NMap, также применяемую сетевыми инженерами. Для сканирования портов оценщик может использовать команду

«nmap [ip-адрес хоста]».

В отчете этой команды выдается перечисление открытых портов, на которых запущены приложения.

Также NMap позволяет получить сведения об установленной на хосте ОС через команду

«nmap -o [ip-адрес хоста]».

Данный метод позволяет получить не только название операционной системы, но и ее версию, вплоть до версии ядра для Linux-систем. Стоит отметить, что утилита может ошибаться, но семейство ОС определит точно.

Реализация уязвимостей на практике и уголовная ответственность

После обнаружения уязвимостей оценщик должен попробовать их эксплуатировать (использовать для проникновения в систему). В рамках данной работы этот этап (эксплуатации уязвимостей) не будет рассматриваться из-за особенностей российского законодательства. При заключении договора между Исполнителем и Заказчиком оговариваются условия, что первый будет проводить нападение на информационную систему второго, что исключает возможность Заказчика обратиться в органы внутренних дел или Федеральную службу безопасности, поскольку действия Исполнителя влечет за собой наступление уголовной ответственности, обусловленной Главой 28 УК РФ «Преступления в компьютерной сфере».

Необходимо отметить, что самостоятельно нельзя проводить не то что реализацию уязвимостей (например, атаки типа «Межсайтовый скриптинг» и «SQL-инъекции»), но и простой скан открытых портов любой организации без санкции, поскольку это может быть расценено компанией как нападение (или как подготовку к нападению), и она имеет право обратиться в следственные органы для проведения дальнейшего расследования. В российской судебной практике статья 273 УК РФ «Создание, использование и распространение вредоносных компьютерных программ» является «мертвой» в плане использования специализированных программ для «взлома», поскольку Верховным судом РФ не даны точные разъяснения, что может являться вредоносной компьютерной программой, а также нейтрализацией средств защиты. На данный момент в судебной практике по данной статье в открытом доступе находятся дела, касающиеся использования нелегального ПО, а судебные дела, касаемые взлома проходят в особом режиме.

Для практики пентеста начинающим специалистам советуют работать в рамках программы Bug Bounty, где компании оставляют «заявки» на взлом своей инфраструктуры, однако это не гарантирует защиту от наступления уголовной ответственности, поскольку лишь один факт наличия «вредоносного ПО» на компьютере, коим может быть расценен даже Metasploit, может повлечь наступление уголовной ответственности.

На данный момент Правительство РФ в рамках национального проекта «Цифровая экономика России» проводит программу распространения «Киберполигонов», на которых молодые специалисты по информационной безопасности могут получить практические навыки, но только в рамках защиты и отражения компьютерных атак, забывая дать инфраструктуру для тренировки навыков пентеста.

Библиографический список

1. ГОСТ Р 58128-2018 ч.1. Информационная технология. МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ. Детализация анализа уязвимостей программного обеспечения в соответствии с ГОСТ Р ИСО/МЭК 15408 и ГОСТ Р ИСО/МЭК 18045. Часть 1. Использование доступных источников для идентификации потенциальных уязвимостей. – Москва. – Стандартинформ, 2018. 16 с.
2. ГОСТ Р 58143-2018 ч.2. Информационная технология. МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ. Детализация анализа уязвимостей программного обеспечения в соответствии с ГОСТ Р ИСО/МЭК 15408 и ГОСТ Р ИСО/МЭК 18045. Часть 2. Тестирование проникновения. – Москва. – Стандартинформ, 2018. 32 с.
3. Скабцов Н. Аудит безопасности информационных систем. — СПб.: Питер, 2018. — 272 с.: ил. — (Серия «Библиотека программиста»).
4. Фленов М. Е. Linux глазами хакера. - 4-е изд., перераб. и доп. -СПб.: БХВ-Петербург, 2016. — 432 с.: ил.

УДК 004.056; ГРНТИ 81.93.29

ЗАЩИТА ИНФОРМАЦИИ В ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ

Т.И. Калинин

*Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань, tkalinkina2014@mail.ru*

Аннотация. В работе рассматривается наиболее популярный в настоящее время криптографический протокол IPSec. Приводятся история его создания, основные особенности, достоинства и недостатки.

Ключевые слова: криптографический протокол, защита информации, пакет, алгоритм шифрования, стойкость алгоритма шифрования, контролируемая зона.

INFORMATION PROTECTION IN INFORMATION SYSTEMS

T.I. Kalinkina

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

The summary. The paper considers the currently most popular cryptographic protocol IPSec. The history of its creation is given, key features, advantages and disadvantages.

Keywords: cryptographic protocol, information protection, package, encryption algorithm, strength of the encryption algorithm, controlled zone.

Одной из важнейших проблем защиты информации в информационных системах является обеспечение конфиденциальности при ее передаче за пределы контролируемой зоны по открытым каналам связи. Самым надежным способом защиты в этом случае является шифрование информации. Защита информации с помощью шифрования в сети может происходить на различных уровнях модели OSI:

- на канальном. В этом случае используются такие протоколы как PPTP, L2TP, L2f;
- на сетевом уровне используют протокол IPSec;
- на транспортном уровне используют протоколы SSL, TLS;
- прикладной уровень передачи данных защищают с помощью протоколов SSH, PGP.

Рассмотрим подробнее протокол IPSec. Разработка данного протокола началась в 1992 году. Проект был открытым. Принять участие в разработке мог каждый желающий. В 1995 г. был реализован первый проект данного протокола. Широко обсуждались такие его свойства как безопасность, эффективность, простота исполнения, возможности использования и дальнейшего развития. В 1998 г. разработка протокола была завершена. Данный протокол был разработан для обеспечения защиты информации стека протоколов TCP/IP.

Архитектура протокола IPSec обладает следующими достоинствами:

- гибкостью. С помощью данного протокола можно защитить любые типы взаимодействий: сеть-сеть, хост-сеть, хост-хост. Защищенные туннели начинаются и заканчиваются где угодно, могут вкладываться друг в друга и т.п.;
- универсальностью. Защита данного протокола применима ко всем IP-пакетам и однородна для сетевых, транспортных и прикладных протоколов;
- применение протокола IPSec не требует реинженеринга используемых приложений и бизнес процессов;
- прозрачностью. Защита на основе протокола IPSec полностью прозрачна для пользователей.

IPsec (сокращение от IP security) — стек протоколов для организации защищенного взаимодействия на основе межсетевого протокола IP. Позволяет осуществлять подтверждение подлинности и/или шифрование IP-пакетов. В IPsec входят протоколы защищенного обмена парольно-ключевой информацией в сети Интернет. В основном, данный стек протоколов применяется для организации VPN-соединений.

Протокол IPsec может использоваться для защиты любых протоколов, базирующихся на TCP и UDP. Изначально TCP/IP проектировался как коммуникационный, т.е. он ориентирован на: надежную передачу данных через гетерогенные физические среды; контроль связности сети и маршрутизации; оптимизацию загрузки канала; адаптацию транспортных сервисов к условиям сети. Однако, вопросам безопасности в этом стеке уделялось мало внимания. Вследствие данной особенности проектирования возникают IP-атаки, ICMP-атаки, атаки на системы маршрутизации, UDP- и TCP-атаки, атаки на уровне прикладных протоколов. Стек протоколов IPsec помогает избежать данных проблем. На основании вышесказанного выдвигается ряд требований к протоколам безопасности IPsec и к механизмам управления ключами.

Требования к протоколам защиты:

- наличие механизмов для реализации аутентификации, целостности, контроля доступа и конфиденциальности;
- поддержка топологии «сеть-сеть», «клиент-сеть», «клиент-сервер (др. клиент)»;
- нейтральность по отношению к криптоалгоритмам;
- отсутствие зависимостей между мастер-ключом и временным ключом;
- целостность потока пакетов, вследствие этого происходит уход от дейтаграммной природы IP к контексту безопасного соединения, SA (security association).

Требования по управлению ключами:

- установление ключа (key establishment) – генерация ключа и доставка его потребителю;
- аутентификация – поддержка множества механизмов аутентификации: симметричные ключи и сертификат, одноразовый пароль и серверы аутентификации (RADIUS и т.п.), произвольные комбинации этих механизмов;
- симметрия – равная способность каждой из сторон создать ключ для защищенного обмена; относительная устойчивость к DoS-атаке;
- защита сеансового ключа (perfect forward secrecy);
- независимость сеансовых ключей (back traffic protection);
- согласование политик безопасности сторон;
- расширяемость (payload, domain of interpretation).

Архитектура протокола IPsec

Стек протоколов IPsec можно разделить по назначению две группы:

- первая группа протоколов предназначена для защиты потока передаваемых пакетов,
- вторая группа протоколов предназначена для обмена парольно-ключевой и др. информацией, необходимой для работы стека протоколов.

Протокол обмена криптографическими ключами — IKE (Internet Key Exchange). Данный протокол предназначен для управления аутентификацией взаимодействующих абонентов, согласованию политик безопасности и выработки ключевого материала для протоколов АН и ESP.

Протоколы, обеспечивающие защиту передаваемого потока:

- ESP (Encapsulating Security Payload — инкапсуляция зашифрованных данных) выполняет функции обеспечения целостности и конфиденциальности передаваемых данных;
- АН (Authentication Header — аутентифицирующий заголовок) обеспечивает только целостность передаваемых данных, причем сами данные не подвергаются шифрованию.

Протоколы ISAKMP и Oakley были совмещены в рамках гибридного протокола IKE. Протоколы первой группы могут функционировать либо в транспортном режиме, либо в режиме туннелирования.

В транспортном режиме подвергается шифрованию (или подписывается) только часть IP-пакета, содержащая данные. Заголовок IP-пакета не изменяется. Данный режим, как правило, необходим для соединения хостов. Его также применяют для реализации взаимодействия шлюзов, для защиты туннелей (IP tunnel, GRE и др.).

В туннельном режиме IP-пакет шифруется целиком. Для передачи по сети его инкапсулируют в другой IP-пакет. По существу, это защищённый IP-туннель. Режим туннелирования применяется при подключении удаленных компьютеров к VPN (VPN - виртуальная частная сеть) и/или для безопасного взаимодействия по открытым каналам связи между шлюзами разных частей VPN.

Режимы IPsec не являются взаимоисключающими. В одной сети разные устройства могут функционировать как в транспортном, так и в туннельном режиме.

IPsec-трафик имеет особенность при использовании в сети NAT-шлюзов. Для прохождения трафика протокола IPsec через NAT-шлюзы IETF определила способ инкапсуляции ESP в UDP, получивший название NAT-T (NAT traversal).

Протокол IKE (Internet Key Exchange) — стандартный протокол стека IPsec, используемый для обеспечения безопасности взаимодействия в виртуальных частных сетях (VPN). Протокол IKE предназначен для защищенного согласования и доставки парольно-ключевой информации и параметров политики безопасности для ассоциации безопасности (SA). Данный протокол полностью защищен; подлежит расширению (может использоваться в процессе конфигурации адресов, при передаче абстрактных данных VendorID, keepalive и т.п.); позволяет реализовать строгую взаимную аутентификацию партнеров. Также можно выделить основные функции протокола IKE:

- создание ключей и реализация взаимной аутентификации абонентов при ключевом обмене;
- создание контекстов защищенных соединений (ISAKMP Security Association, ISAKMP SA) для обмена ключевой/аутентификационной информацией при реализации первой фазы протокола IKE;
- согласование настроек политик защищенных соединений (IPsec Security Association, IPsec SA) при взаимодействии во второй фазе протокола IKE;
- автоматическая замена ключевого материала по определенному перечню событий или компрометации;
- защита сеансовых криптографических ключей (Perfect forward secrecy, PFS);
- строгая взаимная аутентификация партнеров по взаимодействию.

Формально, протокол IKE включает на две фазы: первую и вторую. На любой фазе реализуется согласование параметров взаимодействия, обмен открытыми ключами DH и аутентифицирование ключевого обмена. Параметры согласуются в рамках обменов (Exchange) структурированными и стандартизованными сообщениями (Message). Каждое сообщение представлено как набор вложенных структур данных (Payload).

В процессе первой фазы создается контекст защищенного соединения ISAKMP SA. Все последующие взаимодействие реализуются под его защитой. Созданный в процессе первой фазы контекст ISAKMP SA может использоваться для нескольких вторых фаз. Таким образом, на его основе может быть создано несколько IPsec SA.

Для первой фазы возможны два режима работы: основной (Main Mode) и агрессивный (Aggressive Mode). Основной режим реализует 3 фазы обмена:

- на первой фазе хосты согласуют правила;
- на второй фазе хосты обмениваются открытыми значениями протокола Диффи-Хеллмана и вспомогательными данными;
- на третьей фазе хосты подтверждают обмен протокола Диффи-Хеллмана.

В агрессивном режиме между хостами в процессе первого обмена устанавливаются правила, передаются открытые значения Диффи-Хеллмана и вспомогательная информация.

Во втором сообщении данного обмена осуществляется идентификация отвечающей стороны (responder). Третье сообщение идентифицирует источник начала обмена и подтверждает участие в нем. Последнее (четвертое) сообщение может быть не послано. В протоколе IKE реализованы четыре метода аутентификации: на предопределенных ключах (with a Pre-Shared Key), на электронной цифровой подписи (with Signature) и шифрование на открытых ключах (with Public Key Encryption или with a Revised Mode of Public Key Encryption).

В процессе второй фазы (режим QuickMode) осуществляется обновление ключей шифрования для реализации защищенного обмена данными в рамках протоколов AH и/или ESP, согласование параметров IPsec SA, защита сеансовых криптографических ключей (Perfect forward secrecy, PFS).

Контекст защищенного соединения является двунаправленным, т.е. любой участник взаимодействия может инициировать Quick Mode и информационный обмен (Informational Exchanges).

Протокол Authentication Header (AH) – это протокол, с помощью которого обеспечивается целостность виртуального соединения и передаваемых данных, аутентификация источника информации (в т.ч. каждый IP пакет) и дополнительную функцию по предотвращению повторной передачи пакетов. Контролю подлежит целостность данных IP пакетов. Пакеты передаются не в зашифрованном виде. Данный протокол эффективен при борьбе с атаками типа перехвата, модификации трафика и подмены IP адресов. Он также защищает проблем, возникающих при повторной передаче пакетов.

Для реализации всех вышеупомянутых функций используются хэш-функции. Значение хэш-функции для контроля целостности данных (integrity check value, ICV) вычисляется от пакета данных, не включая переменные поля IP-заголовка исходного пакета. Длина нового пакета увеличивается на длину AH-заголовка, приблизительно, на 24 байта. Протокол поддерживает следующие криптографические алгоритмы хэширования: обязательные - HMAC-MD5-96 (RFC 2403), HMAC-SHA-1-96 (RFC 2404) и дополнительные - DES-MAC, HMAC-ГОСТ Р 34.11-94, -2001.

Протокол AH может использоваться как в туннельном режиме, так и в транспортном (а так же еще в сочетании с протоколом шифрования (ESP)).

Протокол Encapsulating Security Payload (ESP) – это протокол обеспечивает конфиденциальность передаваемой информации с помощью шифрования, ограничивает поток конфиденциального трафика. С его помощью реализуется целостность виртуального соединения (передаваемых данных), аутентификация источника данных и дополнительная функция по защите от повторной передачи пакетов.

Использование протокола ESP увеличивает длину исходного IP пакета приблизительно на 24 байта. В протоколе ESP реализованы следующие алгоритмы шифрования: обязательные - DES-CBC (RFC 2405), NULL (RFC 2410); дополнительные - CAST-128 (RFC 2451), IDEA (RFC 2451), 3DES (RFC 2451), AES- 128, 192, 256, ГОСТ (ГОСТ 28147-89); алгоритмы хэширования: обязательные - HMAC-MD5-96 (RFC 2403), HMAC-SHA-1-96 (RFC 2404); дополнительные - DES-MAC, HMAC-ГОСТ Р 34.11-94, Р 34.11-2001.

Протокол ESP применяется и в туннельном и в транспортном режимах, а также в комбинации с протоколом AH.

Контекст безопасности протокола IPsec - Security Association (SA) – основа сервиса безопасности, обеспечивающая взаимосвязь алгоритмов и данных, предоставляющих параметры, необходимые для работы AH и/или ESP. Такая структура данных, организованная при помощи протокола IKE, позволяет защитить трафик в каждом из направлений. Контекст безопасности уникальным образом определяется, как комбинация Security Parameter Index (SPI), IP адреса получателя и идентификатора протокола AH/ESP.

Концепция защищенного виртуального соединения (SA) является основой архитектуры протокола IPsec. Контекст безопасности IPsec представляет собой симплексное соедине-

ние, создаваемое для передачи по нему защищаемого трафика. В процессе работы SA формируется на основе использования протоколов AH или ESP (либо обоих одновременно). SA разработан для концепции межтерминального соединения (point-to-point) и функционирует в двух режимах: транспортном режиме (PTR) и режиме туннелирования (PTY). Транспортный режим реализуется при SA между двумя IP-узлами. В режиме туннелирования SA создает IP-туннель.

В двух таблицах: в базе данных политик безопасности (SPD — Security Policy Database) и в базе данных безопасных соединений (SAD — Security Association Database) хранятся данные параметров политик безопасности и безопасных соединений. Каждое SA характеризуется уникальным маркером, включающим три элемента:

- индекс параметра безопасности (SPI);
- IP-адрес назначения;
- идентификатор протокола безопасности (ESP или AH).

В каких случаях нужно включать шифрование или контроль целостности определяется записями SPD. В базе данных SAD находятся криптоключи, используемые при шифровании или для подписи передаваемых данных. Запись в SPD включает набор значений полей IP-заголовка и полей заголовка протокола верхнего уровня, называемых селекторами. Они применяются для фильтрации исходящих пакетов. Задача фильтрации сопоставить каждый исходящий пакет с определенным SA. Например в SPD могут содержаться такие селекторы:

- IP-адрес получателя;
- IP-адрес источника;
- протокол IPsec (AH, ESP или AH+ESP);
- порты отправителя и получателя.

При передаче пакета, который в согласно SPD подлежит шифрованию, а в SAD для него нет соответствующего SA, то по протоколу IKE согласовывается с абонентом создание нового SA и его параметры.

Технологии IPsec, как никакие другие, подходят для построения сетевой защиты крупных корпоративных сетей, которые характеризуются следующими факторами:

- сложная распределенная топология, наличие территориально распределенных подразделений;
- наличие множества пользователей, сложная структура прав доступа, привилегий и ролей пользователей;
- сложная, распределенная структура прикладных систем;
- использование множества сетевых протоколов, обслуживающих голосовые и мультимедийные потоки, включая протоколы реального времени;
- наличие мобильных пользователей, как внутри корпоративной сети, так и вне ее;
- наличие удаленных пользователей;
- необходимость доступа к открытым информационным источникам (Интернет);
- наличие внутренних информационных инфраструктур и систем (т.н. интранет-топологии);
- необходимость взаимодействия с внешними партнерскими организациями, в том числе для обмена коммерчески значимой и конфиденциальной информацией (т.н. экстранет-топологии);
- наличие конфиденциальных информационных источников с различными уровнями конфиденциальности содержания.

Технологии IPsec обладают всеми необходимыми характеристиками для того, чтобы успешно защищать крупные корпоративные сети любого размера. А в сочетании с отечественными криптоалгоритмами позволяют соответствовать требованиям регуляторов.

Библиографический список

1. IP Security (IPSec) // Википедия. [Электронный ресурс]. - 2019. Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/IPsec>. - Дата доступа 17.01.2020.
2. Технология IPsec // book.itep. [Электронный ресурс]. -2019. Режим доступа : <http://book.itep.ru/6/ipsec.htm>. - Дата доступа: 01.10.2021.
3. Анатомия IPsec // Хабр. [Электронный ресурс]. - 2019. Режим доступа: <https://habr.com/ru/company/xakep/blog/256659/> Дата доступа: 01.10.2021.

УДК 004.056; ГРНТИ 81.93.29

ЗАЩИТА ИНФОРМАЦИИ В ОБЛАЧНЫХ ТЕХНОЛОГИЯХ

В.С. Бузин

*Рязанский государственный радиотехнический университет имени
В. Ф. Уткина, Российская Федерация, Рязань, buzinvs1@yandex.ru*

Аннотация. Рассматриваются актуальные угрозы и уязвимости облачных технологий, а также средства и способы их защиты.

Ключевые слова: облачные технологии, облачные вычисления, защита информации в облачных вычислениях, угрозы облачных вычислений.

INFORMATION PROTECTION IN CLOUD TECHNOLOGIES

V.S. Buzin

*Ryazan State Radio Engineering University named after V. F. Utkin,
Russian Federation, Ryazan, buzinvs1@yandex.ru*

Annotation. The paper discusses the current threats and vulnerabilities of cloud technologies, as well as means and methods of their protection.

Keywords: cloud technologies, cloud computing, information protection in cloud computing, threats of cloud computing.

В основе угроз облачных вычислений лежат высокоуровневые угрозы, связанные с возможностью управления облаком в качестве единой информационной системы [1]. В связи с этим необходимо предусмотреть физическую и сетевую защиту от различных видов угроз. В качестве реализации физической защиты информации используется контроль доступа лиц в помещения, где располагается сетевая инфраструктура. В качестве реализации сетевой защиты информации используются защита средств виртуализации, защита от вторжений, а также применяется межсетевой экран, который подразумевает разделение общей сети на изолированные подсети, которые могут представлять собой как виртуальные машины, так и отдельные сервера. Кроме того, в облачных вычислениях важную роль играют средства виртуализации.

Угрозы облачных вычислений

К основным угрозам облачных вычислений относятся следующие угрозы [2,3]:

- Угрозы, возникающие при перемещении серверов в вычислительное облако. В облачных технологиях доступ инженеров к серверам контролируется с помощью Интернета, а это, в свою очередь, приводит к новым угрозам безопасности информации;
- Угрозы, связанные с созданием новых виртуальных машин. В связи с тем, что виртуальные машины могут создаваться, клонироваться и перемещаться в большом количестве на физических серверах, возникают проблемы, связанные с фиксацией состояний операционных систем на виртуальных машинах;
- Угрозы, связанные с уязвимостями операционных систем, запущенных на виртуальных машинах. Данные угрозы вытекают из предыдущих угроз. В связи с тем, что на вирту-

альных машинах запускаются различные операционные системы, то они подвержены тем же уязвимостям. В связи с этим необходимо предусматривать защиту средств виртуализации;

– Угрозы, связанные с защитой внутри виртуальной среды. Поскольку сервера облачных вычислений используют одни и те же операционные системы и ПО, то существуют угрозы удаленного взлома или заражения вредоносным кодом. Кроме того, предыдущие угрозы также увеличивают вероятность реализации данных угроз. В связи с этим необходимо применять средства обнаружения и предотвращения вторжений, которые способны обнаруживать различное вредоносное воздействие на сервера облачных вычислений и виртуальные машины, запущенные на них.

– Угрозы, связанные с защитой бездействующих виртуальных машин. Поскольку существует угроза заражения выключенной виртуальной машине, то необходимо реализовать защиту не только внутри виртуальной машины, но и на уровне гипервизора.

– Угрозы, связанные с размыванием периметра сети. Данная угроза приводит к уменьшению защищенности частей сети и, следовательно, к уменьшению защищенности всей сети. Для разграничения частей сети необходимо переместить сетевой периметр к самой виртуальной машине (рисунок 1), а также реализация одного из видов политик безопасности (рисунок 2).



Рис. 1. Схема работы механизма разграничения доступа

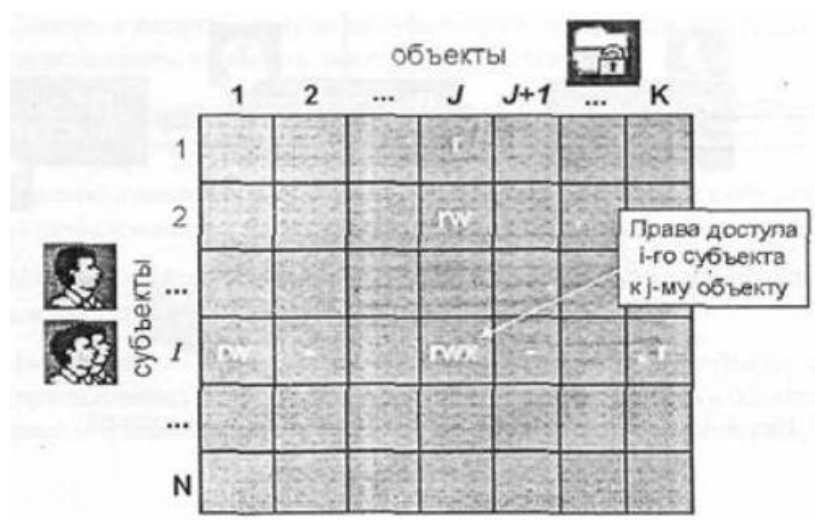


Рис. 2. Матрица избирательного управления доступом

Существующие виды атак на облачные вычисления

Существуют следующие виды атак на сервера облачных вычислений [2,3]:

– Атаки на операционные системы, программное обеспечение, сетевые протоколы. Для защиты от данных видов атак применяются такие средства защиты как средства антивирусной защиты, средства разграничения доступа, средства межсетевого экранирования, средства контентного анализа, средства защиты от спама. Кроме того, необходимо предусмотреть корректную работу данных средств защиты в средах виртуализации;

– Атаки на сервера облачных вычислений. Для защиты от данных видов атак применяются следующие средства защиты: средства защиты от DoS-атак, средства межсетевого экранирования, средства контроля целостности, средства защиты от SQL-инъекций, средства резервного копирования, средства разграничения доступа;

– Атаки на клиента. Для защиты от данных видов необходимо использовать следующие виды средств защиты информации: средства межсетевого экранирования, средства антивирусной защиты, средства защиты почтовых клиентов, системы обнаружения вторжений, средства криптографической защиты информации.

– Атаки на гипервизор. Данный вид атак характеризуется тем, что при атаке на одну виртуальную машину возможно получить доступ к ресурсам других виртуальных машин. Исходя из этого, можно сделать вывод о том, что данный вид атак является наиболее опасным и поэтому необходимо предусмотреть надежную систему защиты виртуализации для разграничения ресурсов виртуальных машин, запущенных на одном сервере облачных вычислений. Кроме того, необходимо контролировать запуск виртуальных машин.

Виды защиты от угроз безопасности облачных вычислений

К основным способам защиты от угроз безопасности облачных вычислений относятся [3]:

- Использование средств криптографической защиты информации;
- Создание защищенного канала связи;
- Использование средств разграничения доступа;
- Разделение ресурсов вычислительных машин на серверах облачных вычислений;
- Использование таких технологий, как VPN и VLAN.

Библиографический список

1. Котяшичев, И. А. Защита информации в «Облачных технологиях» как предмет национальной безопасности / И. А. Котяшичев, Е. А. Бырлова. — Текст : непосредственный // Молодой ученый. — 2015. — № 6.4 (86.4). — С. 30-34. — URL: <https://moluch.ru/archive/86/16357/> (дата обращения: 18.03.2022).
2. Вишняков Александр Сергеевич, Макаров Анатолий Евгеньевич, Уткин Александр Владимирович, Зажогин Станислав Дмитриевич, Бобров Андрей Владимирович Обеспечение защиты данных, представленных в облачных сервисах // Вестник науки и образования. 2019. №11-2 (65). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/obespechenie-zaschity-dannyh-predstavlennyh-v-oblachnyh-servisah> (дата обращения: 18.03.2022).
3. Прудникова А. А., Садовникова Т. М. Анализ облачных сервисов с точки зрения информационной безопасности // T-Comm. 2012. №7. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-oblachnyh-servisov-s-tochki-zreniya-informatsionnoy-bezopasnosti> (дата обращения: 18.03.2022).

УДК 004.056; ГРНТИ 81.93.29

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УГРОЗ БЕЗОПАСНОСТИ ИНФОРМАЦИИ В ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ В СООТВЕТСТВИИ С МЕТОДИКОЙ ФСТЭК РОССИИ

М.О. Удовик, Н.С. Козырева

*Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань, maksim.udowik@yandex.ru, nataliya.kozyreva@list.ru*

Аннотация. В данной работе рассматривается Методика оценки угроз безопасности данных, её основные положения и порядок и содержание работ по выявлению угроз для данных в информационных системах, а также рассматривается построение модели угроз для данных систем и сетей.

Ключевые слова: угроза, значимые нарушители, значимые угрозы для данных, нарушитель, отрицательные результаты, сценарий угроз.

IDENTIFICATION OF THREATS TO INFORMATION SECURITY IN INFORMATION SYSTEMS IN ACCORDANCE WITH THE METHODOLOGY OF THE FSTEC OF RUSSIA

M.O. Udovik, N.S. Kozyreva

*Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,
Russian Federation, Ryazan, maksim.udowik@yandex.ru, nataliya.kozyreva@list.ru*

Annotation. This paper discusses the methodology for assessing threats to data security, its main provisions and the procedure and content of work on identifying threats to data in information systems, and also considers the construction of a threat model for these systems and networks.

Keywords: threat, significant violators, significant threats to data, violator, negative results, threat scenario.

Порядок оценки угроз

Значимые угрозы для информации – угрозы, которые наиболее вероятно могут быть в системе или сети с заданной конфигурацией.

Существуют следующие данные для анализа:

1. список угроз на сайте ФСТЭК России bdu.fstec.ru;
2. обзор векторов компьютерных атак, которые имеются в сети «Интернет»
3. документация на сеть или систему
4. договоры, соглашения или иные документы, содержащие условия использования информационно-телекоммуникационной системы центра обработки данных
5. законодательные акты РФ по созданию и работе системы и сети
6. итоги оценки угроз, проведённой владельцем информации.

Оценка угроз для информации должна носить систематический характер и проводиться как на этапе проектирования сетей и систем, так и в ходе их функционирования. На этапе их проектирования оценка угроз осуществляется на основе их архитектуры и условий работы. Оценка угроз проходит с использованием экспертного метода. Для получения отдельных данных для анализа применяются автоматические устройства по инвентаризации систем и сетей, поиск уязвимостей, тестирования на проникновение сетей и систем и иные средства для определения уровня защиты. В случае оценки угроз для систем и сетей, угрозы определяются как для них самих, так и для информационно-телекоммуникационной системы (рисунок 1).

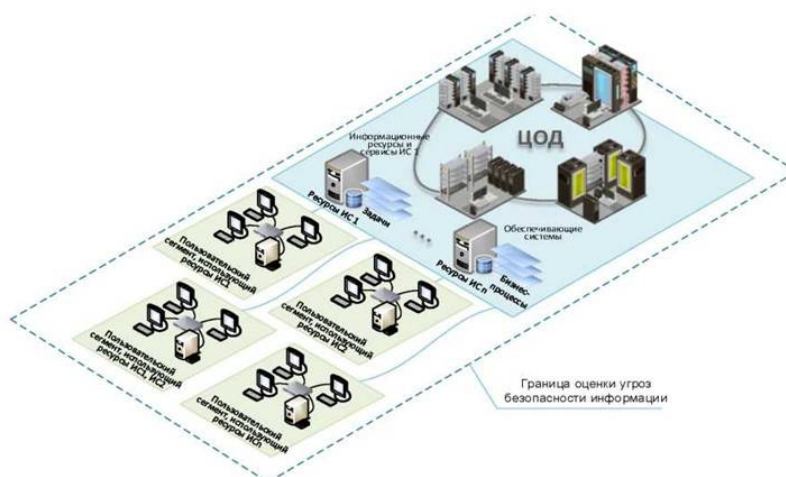


Рис. 1. Оценка угроз

Оценка состоит из следующих шагов:

- 1) поиск отрицательных результатов, появляющиеся от действий угроз;
- 2) поиск объектов воздействия угроз;
- 3) анализ факта появления угроз и их значимости.

Схема осуществления оценки угроз для конфиденциальных данных показана на следующей схеме (рис. 2):

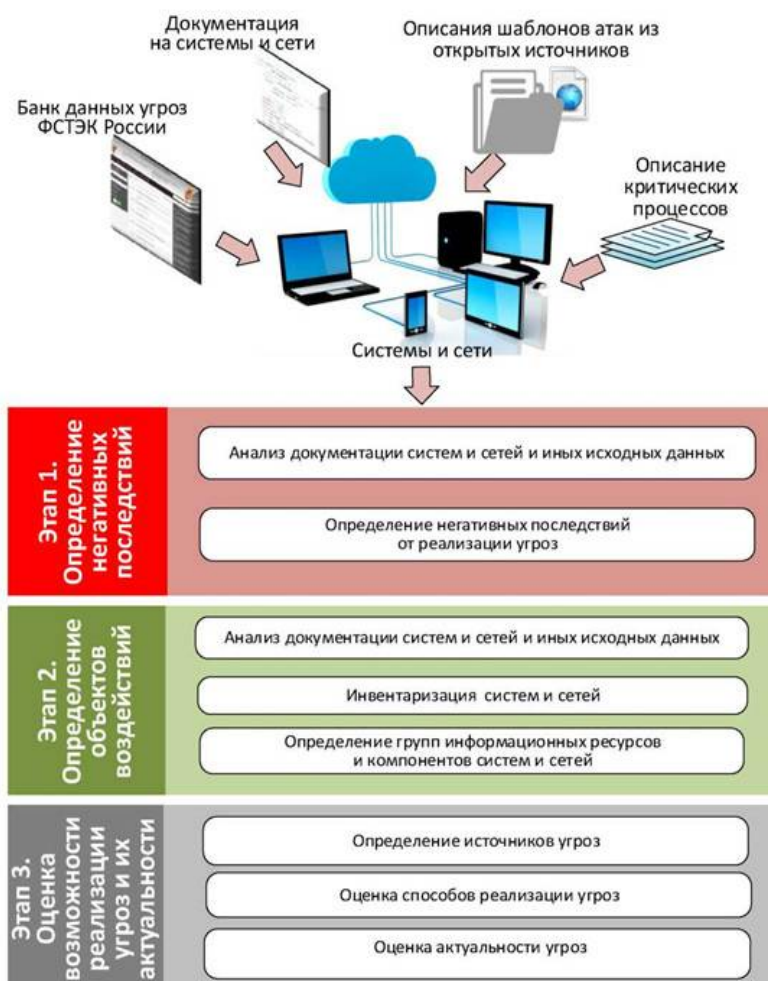


Рис. 2. Схема осуществления оценки угроз

Выявление отрицательных последствий от реализации угроз.

В результате действия угроз могут произойти следующие события:

- а) разрушению гражданских прав;
- б) проявлению вреда в поддержке обороны, безопасности и правопорядка страны, а также в экономической, социальной, политической, экологической сферах деятельности;
- в) появлению рисков для владельца информации.

Определение возможных объектов воздействия угроз безопасности информации

Объекты воздействия – объекты (информационные ресурсы и элементы сетей и систем), несанкционированный доступ к которым приводит к негативным последствиям. Комплекс этих объектов и их интерфейсов устанавливает границы хода оценки угроз и проектирования модели угроз (рисунок 3).

По анализу данных определяются группы информационных ресурсов, присущие сетям и системам:

- а) информация и пользователи в сетях и системах;
- б) программно-аппаратные инструменты обработки и хранения информации;
- в) программные инструменты, машинные носители конфиденциальной информации;
- г) телекоммуникационная аппаратура;
- д) средства безопасности данных.

В ходе эксплуатации сетей и систем и при их совершенствовании объекты воздействия определяются для реальных архитектуры и условий их работы согласно результатам анализа исходных данных. Объекты воздействия определяются на уровнях, показанных на рисунке 3.

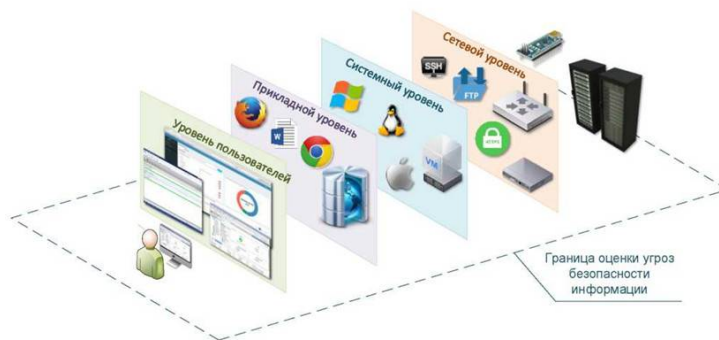


Рис. 3. Уровни архитектуры сетей и систем, определяющие объекты воздействия

При оценке угроз для данных в сетях и системах объекты воздействия определяются по составу и услугам поставщика. Арендуемые или используемые на законном основании программно-аппаратные средства относятся к объектам воздействия, которые находятся в границе оценки угроз. Образец установки границ при оценке угроз между поставщиком и оператором показан на следующей схеме (рис. 4):



Рис. 4. Пример назначения границ при оценке угроз безопасности информации в информационной инфраструктуре поставщика услуг

Оценка возможности реализации угроз и определение их значимости

1. Определение источников угроз

Значимые нарушители – группа людей, осуществляющая возникновение угроз для данных незаконным входом и воздействием на средства и элементы системы.

Нарушители признаются значимыми, когда возможные цели реализации ими угроз для информации могут привести к плохим последствиям. Нарушители разделяются на *два класса* (рисунок 5, 6):

внешние нарушители - нарушители, не имеющие допуск в контролируруемую зону и к ресурсам информационной системы;

внутренние нарушители - нарушители, имеющие допуск в контролируруемую зону и к ресурсам информационной системы.

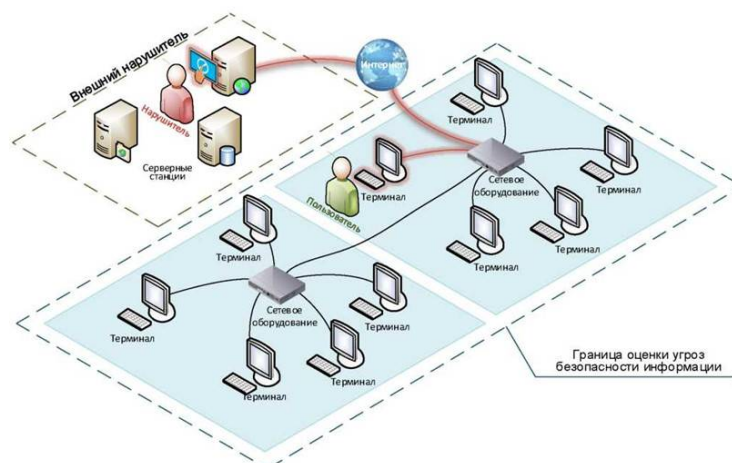


Рис. 5. Внешний нарушитель при возникновении угроз

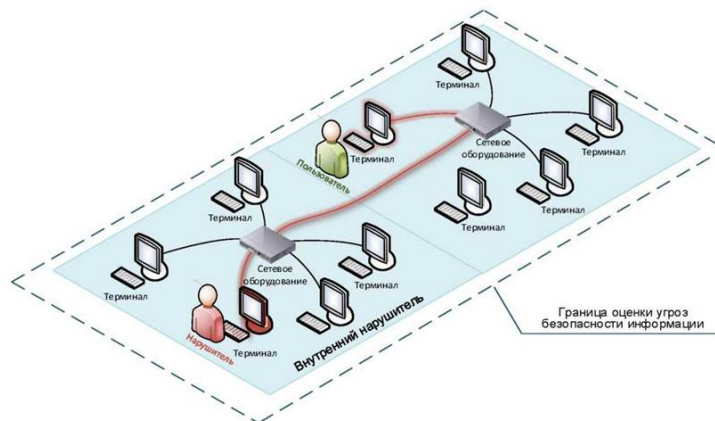


Рис. 6. Внутренний нарушитель при возникновении угроз

По выявлению источников угроз необходимо определить следующее:

- а) типы значимых нарушителей и их цели проведения угроз;
- б) классы значимых нарушителей, реализующие угрозы для информации.

2. Оценка способов реализации угроз

Значимые способы выполнения угроз – способы, за счет которых значимыми злоумышленниками могут быть выполнены угрозы для информации.

Существенными могут быть:

- 1) применение уязвимости;
- 2) ввод ПО, способного нанести вред;
- 3) использование незаконных функций ПО и программно-аппаратных возможностей;
- 4) установка закладочных устройств в ПО;
- 5) развертывание и применение закрытых каналов для передаваемых важных данных;
- 6) захват побочных электромагнитных излучений и наводок для доступности к важной информации;
- 7) нарушение безопасности при предоставлении услуг по установочным и пусконаладочным работам;
- 8) неправильные алгоритм действий при разработке и использовании сетей и систем.

По итогам анализа способов возникновения угроз необходимо раскрыть следующее:

- а) типы и классы нарушителей с правом воспользоваться значимыми способами;
- б) значимые методы действия угроз и виды интерфейсов объектов, на которые направлены вредоносные действия.

3. Оценка значимости угроз конфиденциальных данных

Значимые угрозы для данных – значимые для сетей и систем угрозы. Действие угроз наиболее вероятно, если есть нарушитель, объект воздействия, способы действия угрозы, которые приводят к отрицательным результатам:

УБИ_г = [нарушитель; объекты воздействия; способы действия угроз; отрицательные результаты].

Значимость вероятных угроз устанавливается существованием сценариев их реализации. Эти сценарии должны быть определены для соответствующих способов реализации угроз и применительно к объектам воздействия и видам воздействия на них. Определение сценариев предусматривает установление последовательности тактик и соответствующих им

техник. Если имеется один сценарий, то угроза объявляется значимой и входит в модель угроз (рисунок 7).

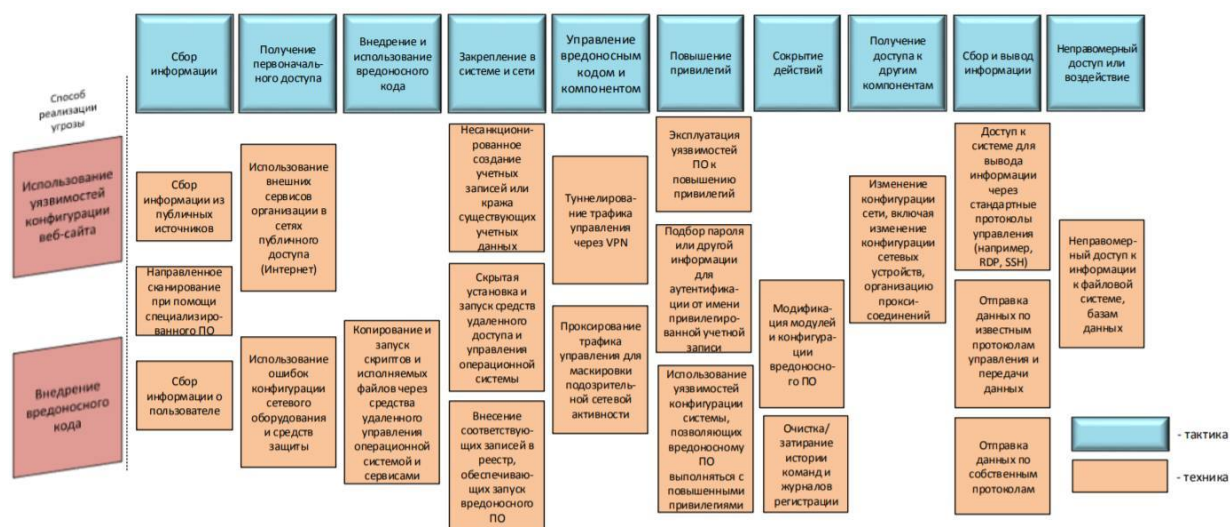


Рис. 7. Пример сценария реализации угрозы

Пример. Рассмотрим пример оценки угроз по Методике. Исходные данные: организация ООО «Россия» с ИСПДн «Кадры». На АРМ и сервере установлен антивирус (рисунок 8).

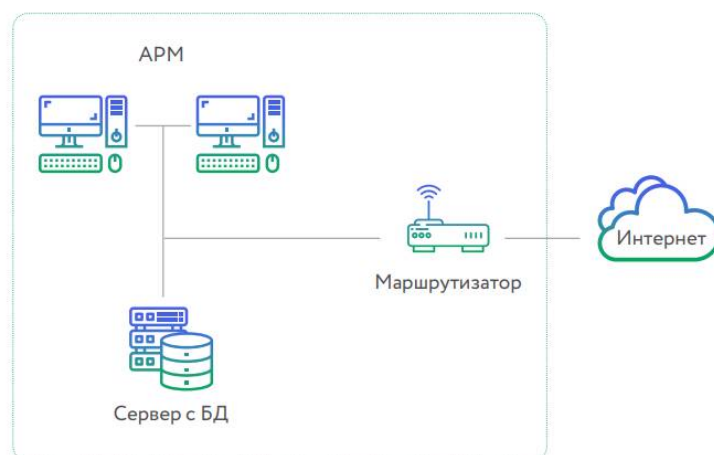


Рис. 8. Общий вид сети организации

1 Этап: определяем негативные последствия

У1 (ущерб физическому лицу): нарушение конфиденциальности (утечка) персональных данных.

У2 (ущерб организации): невозможность решения задач (реализации функций).

У3 (ущерб государству) не применим к данной ИСПДн.

2 Этап: определяем объекты воздействия и виды воздействия

Объекты воздействия:

- АРМ пользователя и пользователи;
- Сервер с базой данных и маршрутизатор;
- Локальная вычислительная сеть (ЛВС);

- Линии связи, которые находятся за пределами контролируемой зоны;
- Система защиты информации (СЗИ) (антивирус).

Виды воздействия: утечка перехват персональных данных; несанкционированный доступ к компонентам информационной системы персональных данных; отказ в обслуживании; нарушение функционирования (работоспособности).

3 Этап:

1. определяем значимых нарушителей (таблица 1)

Таблица 1. Виды, категории нарушителей и возможные угрозы для данных

Виды нарушителя	Категории нарушителя	Возможные цели реализации угроз для данных
Специальные службы иностранных государств	Внешний	Нанесение ущерба государству в области обеспечения обороны, безопасности и правопорядка, а также в иных отдельных областях его деятельности или секторах экономики, в том числе дискредитация или дестабилизация деятельности отдельных органов государственной власти, организаций, получение конкурентных преимуществ на уровне государства, срыв заключения международных договоров, создание внутривластного кризиса
Отдельные физические лица (хакеры)	Внешний	- Получение финансовой или иной материальной выгоды; - Любопытство или желание самореализации (подтверждение статуса)
Авторизованные пользователи систем и сетей	Внутренний	- Получение финансовой или иной материальной выгоды; - Любопытство или желание самореализации; - Месть за ранее совершенные действия; - Непреднамеренные, неосторожные или некомпетентные действия
Конкурирующие организации	Внешний	- Получение конкурентных преимуществ; - Получение финансовой или иной материальной выгоды.

2. Определяем способы реализации и доступные интерфейсы (таблица 2)

Таблица 2. Виды нарушителей, интерфейсы и способы реализации нанесения вреда

Виды нарушителя	Доступные интерфейсы	Способы реализации
Отдельные физические лица	Доступные через ЛВС организации	Внедрение вредоносного ПО
Авторизованные пользователи	Физический доступ к объектам воздействия	Физическое выведение объекта воздействия из строя ввиду неосторожных или неквалифицированных действий
Конкурирующие организации	Внешние сетевые интерфейсы, обеспечивающие взаимодействие с сетью «Интернет»	Использование уязвимостей сетевых протоколов Внедрение вредоносного ПО

3. Определяем возможные угрозы

Основная угроза: Несанкционированный доступ к АРМ пользователя и серверу с базой данных.

Объект воздействия: АРМ пользователя, сервер с базой данных.

Негативные последствия: **У1:** нарушение конфиденциальности важных данных; **У2:** недопустимость решения задач или уменьшение их продуктивности.

4. Определение значимых угроз – сценарий реализации (таблица 3)

Таблица 3. Виды нарушителей, способы реализации и тактики нанесения вреда

Нарушитель	Способ реализации	Тактики
Отдельные физические лица (хакеры)	Внедрение вредоносного ПО	T1. Сбор информации T2. Получение доступа T3. Внедрение вредоносного ПО T4. Закрепление в системе T5. Управление вредоносным ПО T10. Несанкционированный доступ на компоненты систем
Конкурирующие организации	Внедрение вредоносного ПО; Использование уязвимостей сетевых протоколов	

Библиографический список

1. Методический документ. Методика оценки угроз безопасности информации. Утверждён ФСТЭК России 5 февраля 2021 год.
2. Астахов А. Искусство управления информационными рисками. М.: ДМК Пресс, 2010. – 312 с.
3. Варфоломеев А.А. Управление информационными рисками. Учеб. пособие. — М: РУДН, 2008. — 158 с.: ил.

УДК 004.056; ГРНТИ 81.93.29

БЕЗОПАСНЫЙ И НЕБЕЗОПАСНЫЙ КОД. УПРАВЛЕНИЕ ПАМЯТЬЮ В .NET

Е.М. Рящин, Ю.М. Кузьмин

*Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань*

Аннотация. В работе рассматривается работа сборщика мусора, явление упаковки и распаковки объектов, работа с указателями и с памятью в среде CLR.

Ключевые слова: сборщик мусора (GC), куча больших объектов (LOH), указатели, упаковка и распаковка.

SAFE AND UNSAFE CODE. MEMORY MANAGEMENT IN .NET

E.M. Ryashchin, Y.M. Kuzmin

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

The summary. The paper discusses the work of the garbage collector, the phenomenon of boxing and unboxing objects, working with pointers and working with memory in the CLR.

Keywords: garbage collector (GC), large object heap (LOH), pointers, boxing and unboxing.

В Net (CLR среда) нельзя явно управлять памятью, эту ответственность на себя берёт сборщик мусора [1] (GC), который очищает память в автоматическом режиме.

Сборщик мусора

Выделение памяти в управляемой куче .Net происходит при создании объектов, а утилизацией непосредственно занимается сборщик мусора.

К достоинствам такого подхода можно отнести эффективное управление памятью в управляемой куче, её автоматическое освобождение от неиспользуемых объектов и дефрагментация.

Благодаря такому подходу выделение памяти в управляемой куче (подобно стеку) быстрее, чем в не управляемой.

Недостатками являются: большее потребление памяти и приостановка приложения для сборки мусора.

Для оптимизации процесса сборки мусора в куче выделяются поколения объектов со своими пороговыми размерами при превышении которых инициируется очистка.

Поколение 0. Молодое поколение, в которое попадают все новые объекты. Над этим поколением чаще всего проводится сборка мусора. Если объект не был утилизирован, то он попадает в следующее поколение.

Поколение 1. Буферное поколение, между короткоживущими объектами и долгоживущими. Объекты в этом поколении склонны к продолжительной жизни. Сборка мусора в этом поколении выполняется, если в поколении 0 не удалось освободить достаточно места. Выжившие объекты после сборки мусора продвигаются в поколение 2.

Поколение 2. Сюда попадают все долгоживущие объекты и находятся здесь до тех пор, пока сборщик мусора не достигнет этого поколения.

В CLR существует куча больших объектов (более 85 000 байт), иногда называемая поколением 3, но физически обособленным.

Отличительной особенностью кучи больших объектов [2] является отсутствие дефрагментации. А её очистка занимает продолжительное время.

Как правило её очистка начинается при вызове GC.Collect() без параметров или когда в системе недостаточно памяти.

Сборщик мусора утилизирует те объекты, на которые не осталось строгих ссылок. CLR позволяет использовать слабые ссылки (WeakReference) [3], от них не зависит время жизни объекта, и они не учитываются сборщиком мусора. Но слабые ссылки не рекомендуется использовать для небольших объектов.

Можно отметить конкатенацию строк (в том числе длинных строк). Эта операция не сёт вред при определённых условиях, например её цикличность или склеивания длинных строк, что несомненно приводит к потреблению памяти под новый объект, потому что сам объект string является неизменяемым [4] (его нельзя изменить после создания). В этом случае повышается потребление памяти и замедляется работа приложения. Для избегания этих проблем рекомендуется использовать StringBuilder [5].

Так же одной из «вредных» операций, потребляющих память можно выделить упаковки и распаковку.

Упаковка и распаковка типов

Упаковка и распаковка [6] происходит из системы типов C# в которой значение любого типа можно представить как объект.

При приведении значащего типа к типу object или любому другому интерфейсу происходит его упаковка и копирование в кучу. Этот процесс является неявным (рис. 1).

```
int a = 5;  
object o = a; //здесь произойдёт упаковка.
```

Рис. 1. Упаковка

Процесс распаковки является явным и выполняется приведением типов (рис. 2).

```
object o = 12;  
int a = (int)o; //здесь произойдет распаковка.
```

Рис. 2. Распаковка

Операции упаковки и распаковки являются весьма затратными как с точки зрения производительности, так и точки зрения потребления памяти.

Тем не менее можно работать с памятью условно напрямую.

Указатели и unsafe код

Большую часть кода можно отнести к безопасному коду, безопасность которого можно проверить. Однако C# поддерживает контекст unsafe в котором можно писать не проверяемый код [7].

В таком контексте можно использовать указатели (в том числе указатели на функции). Например:

int* p – указатель на целое число.
int** p – указатель на указатель на целое число.
int*[] p – массив указателей на целые числа.
char* p – указатель на тип char.
void* p – указатель на неизвестный тип.
delegate* – указатель функции.

Unsafe код выполняется в среде CLR, а следовательно сборщик мусора может переместить объект, на который ссылается указатель. Это приведёт к тому, что он перестанет указывать на объект (значение указателя не изменится). Для этого рекомендуется фиксировать объекты с помощью ключевого слова `fixed` [8]. Оно запрещает сборщику мусора перемещать объект, на который ссылается указатель. Пример кода на рисунке 3.

```
int[] a = new int[5] { 10, 20, 30, 40, 50 };
fixed (int* p = &a[0])
{
    *p += 1;
    Console.WriteLine(*p);
}
```

Рис. 3. Пример использования оператора `fixed`

Также в `unsafe` контексте доступно ключевое слово `stackalloc` [9], которое позволяет выделить небольшой блок памяти в стеке. Пример использования на рисунке 4.

```
unsafe
{
    int length = 3;
    int* numbers = stackalloc int[length];
    for (var i = 0; i < length; i++) numbers[i] = i;
}
```

Рис. 4. Пример использования выражения `stackalloc`

При работе с выражением `stackalloc` среда CLR старается автоматически минимизировать риск исполнения вредоносного кода путём активации контроля переполнения буфера. В случае переполнения буфера, система незамедлительно останавливает работу приложения.

В некоторых случаях указатели могут ускорить работу алгоритмов. Они также являются одним из способов взаимодействия с неуправляемым кодом.

Взаимодействие с СИ интерфейсом

Другой способ взаимодействия с неуправляемым кодом подразумевает использование безопасного кода.

В качестве указателей выступают структуры `IntPtr` и `UIntPtr`, их размер (4/8 байта) зависит от разрядности среды выполнения. В качестве ключевых слов (с версии C# 9.0) им были назначены `nint` и `nuint` соответственно [10].

Класс `System.Runtime.InteropServices.Marshal` позволяет выполнять различные операции над `IntPtr`. Например, можно выделить место в куче с помощью метода `AllocHGlobal(size)` и получить указатель `IntPtr`. А после использования, освободить память с помощью `FreeHGlobal(ptr)`.

Этот класс позволяет также получать указатели на функции, конвертировать указатели в делегаты (управляемые ссылки на функции) и записывать в память и читать по `IntPtr`.

Тем не менее, в некоторых случаях CLR может автоматически конвертировать неуправляемые типы в управляемые.

Пример вызова неуправляемого кода:

```
[DllImport("user32.dll", CharSet=CharSet.Auto)]
public static extern IntPtr MessageBox(int hWnd, string text, string caption, uint type);
...
MessageBox(0, "Hello World", "Platform Invoke Sample", 0);
```

В итоге работа с памятью в среде CLR является тонкой и важной частью производительности высоконагруженных приложений.

Библиографический список

1. Основы сборки мусора. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://docs.microsoft.com/ru-ru/dotnet/standard/garbage-collection/fundamentals>. – Дата доступа: 22.02.2022.
2. Куча больших объектов в системах Windows. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://docs.microsoft.com/ru-ru/dotnet/standard/garbage-collection/large-object-heap>. – Дата доступа: 22.02.2022.
3. Слабые ссылки. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://docs.microsoft.com/ru-ru/dotnet/standard/garbage-collection/weak-references>. – Дата доступа: 22.02.2022.
4. Неизменность и класс StringBuilder. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://docs.microsoft.com/ru-ru/dotnet/api/system.string?view=net-6.0#Immutability>. – Дата доступа: 22.02.2022.
5. StringBuilder Класс. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://docs.microsoft.com/ru-ru/dotnet/api/system.text.stringbuilder?view=net-6.0>. – Дата доступа: 22.02.2022.
6. Упаковка-преобразование и распаковка-преобразование. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://docs.microsoft.com/ru-ru/dotnet/csharp/programming-guide/types/boxing-and-unboxing>. – Дата доступа: 22.02.2022.
7. Ненадежный код, типы указателей и указатели функций. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://docs.microsoft.com/ru-ru/dotnet/csharp/language-reference/unsafe-code>. – Дата доступа: 22.02.2022.
8. Оператор fixed. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://docs.microsoft.com/ru-ru/dotnet/csharp/language-reference/keywords/fixed-statement>. – Дата доступа: 22.02.2022.
9. Выражение stackalloc. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://docs.microsoft.com/ru-ru/dotnet/csharp/language-reference/operators/stackalloc>. – Дата доступа: 22.02.2022.
10. Типы nint и nuint. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://docs.microsoft.com/ru-ru/dotnet/csharp/language-reference/builtin-types/nint-nuint>. – Дата доступа: 22.02.2022.

УДК 004.056.5(075.8); ГРНТИ 14:35:09

АНАЛИЗ РЕАЛИЗАЦИЙ КРИПТОГРАФИЧЕСКОГО АЛГОРИТМА ДЛЯ СОЗДАНИЯ ЭЛЕКТРОННОЙ ЦИФРОВОЙ ПОДПИСИ DSA

Я.А. Артёмов, О.Г. Швечкова

Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань, yhiutdiy@gmail.com, olga.shvechkova@gmail.com

Аннотация. В работе рассматривается сравнение эффективности программных реализаций алгоритма электронной цифровой подписи DSA

Ключевые слова: программная реализация, электронная цифровая подпись, DSA, Python.

ANALYSIS OF CRYPTOGRAPHIC ALGORITHM IMPLEMENTATIONS TO CREATE DSA ELECTRONIC DIGITAL SUBSCRIPTIONS

Y.A. Artemov, O.G. Shvechrova

Abstract. The paper discusses the comparison of the effectiveness of software implementations of the DSA electronic digital signature algorithm

Keywords: software implementation, digital signature, DSA, Python.

До недавнего времени алгоритм DSA (Digital Signature Algorithm) считался де-факто национальным алгоритмом шифрования многих зарубежных стран. Поэтому освоение базовых приёмов реализации данного алгоритма при изучении дисциплины «Защита информа-

ции» является эффективным способом приобретения практических навыков использования алгоритмов электронной цифровой подписи.

Алгоритм цифровой подписи DSA является алгоритмом цифровой подписи с закрытым ключом. Был представлен в августе 1991 г. и является запатентованным (автор патента — David W. Kravitz). Алгоритм DSA является частью алгоритма DSS (Digital Signature Standard — стандарт цифровой подписи), впервые опубликованного 15 декабря 1998). Последняя версия стандарта алгоритма DSA была выпущена в июле 2013 г. [2].

Общая схема работы алгоритма представлена на рисунке 1 [5].

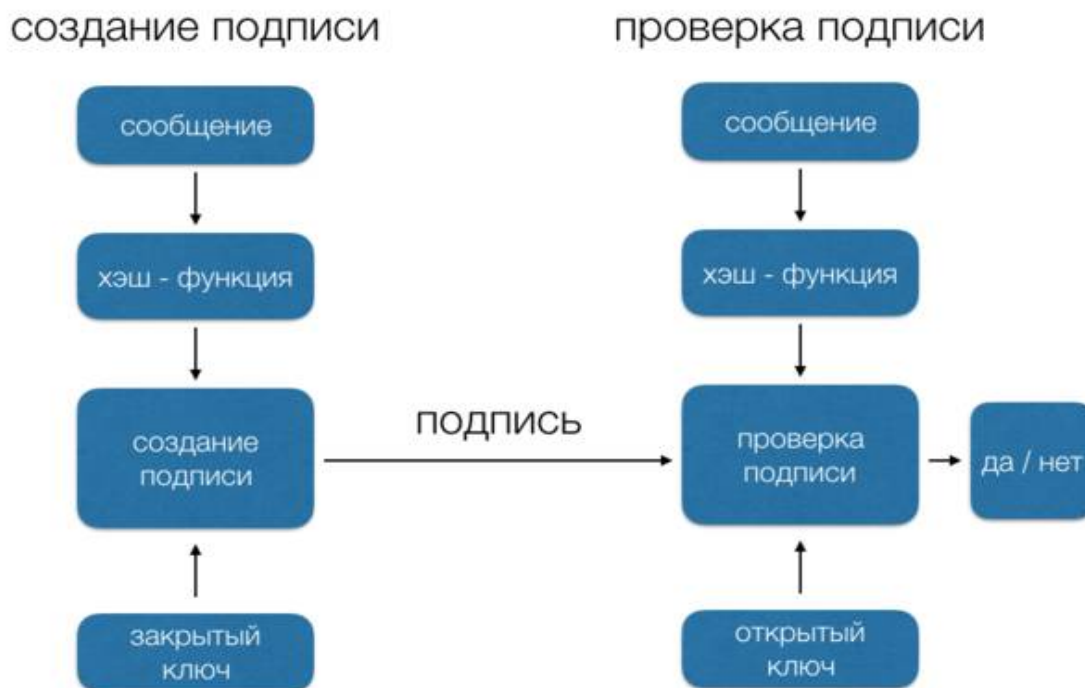


Рис. 1. Общая схема работы алгоритма создания и проверки цифровой подписи

Сравнение реализаций алгоритма цифровой подписи DSA выполнялось на языках Java и Python как с использованием специализированных библиотек, так и без использования таковых.

В рамках проделанной работы были реализованы несколько вариантов алгоритма на двух языках. Критериями сравнения были выбраны быстродействие (время исполнения программы), занимаемое место (объем памяти, используемый программой при работе) и затраты на реализацию (количество строк кода в программе).

Рассмотрим программу, реализующую алгоритм на языке Java без использования специализированных библиотек [5]. Программа реализует следующий алгоритм:

1. Выбор криптографической хеш-функции $H(x)$.
2. Выбор большого простого числа q , размерность которого N в битах совпадает с размерностью в битах значение хеш-функции $H(x)$.
3. Выбор простого числа p , такого, что $(p-1)$ делится на q . Битовая длина p обозначается L ($2^{L-1} < p < 2^L$).
4. Выбор числа g такого, что его мультипликативный порядок по модулю равен q . Для его вычисления можно воспользоваться формулой $g = h^{(p-1)/q} \bmod p$,

где h — некоторое произвольное число, $h \in (1; p-1)$ такое, что $q \neq 1$. В большинстве случаев значение $h = 2$ удовлетворяет этому требованию.

При выполнении программы были получены результаты, представленные в таблице 1

Таблица 1. Результаты выполнения программы без специализированных библиотек на языке Java

Время выполнения, мс.	Объем памяти, байт	Объем кода, строк
363	5559	170

Далее рассмотрим программу на языке Java, в которой используются специализированные библиотеки для шифрования и криптографии (java.security и javax.crypto) [3].

Программа реализует следующий алгоритм:

1. Выбор большого простого числа при помощи генератора случайных чисел.
2. Создание публичного и приватного ключей.
3. Зашифровывание сообщения.
4. Верификация.
5. Расшифровывание сообщения.

При выполнении программы были получены результаты, представленные в таблице 2.

Таблица 2. Результаты выполнения программы с использованием специализированных библиотек на языке Java

Время выполнения, мс.	Объем памяти, байт	Объем кода, строк
573	17369	42

Рассмотрим программу, реализующую алгоритм цифровой подписи на языке Python без использования сторонних библиотек [5]. Программа реализует следующий алгоритм:

1. Выбор криптографической хеш-функции $H(x)$.
2. Выбор большого простого числа q , размерность которого N в битах совпадает с размерностью в битах значение хеш-функции $H(x)$.
3. Выбор простого числа p , такого, что $(p-1)$ делится на q . Битовая длина p обозначается L ($2^{L-1} < p < 2^L$).
4. Выбор числа g такого, что его мультипликативный порядок по модулю равен q . Для его вычисления можно воспользоваться формулой $g = h^{(p-1)/q} \bmod p$, где h — некоторое произвольное число, $h \in (1; p-1)$ такое, что $q \neq 1$. В большинстве случаев значение $h = 2$ удовлетворяет этому требованию.

При выполнении программы были получены результаты, представленные в таблице 3.

Таблица 3. Результаты выполнения программы без специализированных библиотек на языке Python

Время выполнения, мс.	Использовано памяти, байт	Объем кода, строк
169	5545	140

И, наконец, рассмотрим программу, реализующую алгоритм цифровой подписи на языке Python с использованием специализированной библиотеки Crypto. Также стоит учитывать, что данная библиотека работает только на версии языка 3.9 и выше, поскольку на версиях, ранее указанной, существует библиотека с тем же названием, но с меньшим функционалом, что не позволяет реализовать алгоритм [4].

Программа реализует следующий алгоритм:

1. Выбор большого простого числа при помощи генератора случайных чисел
2. Создание публичного и приватного ключей
3. Зашифровывание сообщения
4. Верификация
5. Расшифровывание сообщения

При выполнении программы были получены результаты, представленные в таблице 4.

Таблица 4. Результаты выполнения программы с использованием специализированной библиотеки на языке Python

Время выполнения, мс.	Использовано памяти, байт	Объем кода, строк
97	95160	42

Общая сводка результатов представлена в таблице 5.

Таблица 5. Результаты реализации программ с использованием различных средств программирования

Реализация	Время выполнения, мс.	Объем памяти, байт	Объем кода, строк
Java	363	5559	170
Java lib	573	17369	42
Python	169	5545	140
Python lib	97	95160	42

Анализ полученных результатов показывает, что наибольшую скорость выполнения и наименьший объем кода имеет программа, реализованная на языке Python с использованием специализированной библиотеки, однако, эта программа является самой затратной по памяти, опережая остальные более чем в 7 раз, поэтому её нельзя назвать наиболее предпочтительной. Самое большое время выполнения имеет программа, реализованная на языке Java с использованием специализированных библиотек, она же занимает второе место по затратам памяти. Следовательно, эта реализация является наименее предпочтительной, несмотря на малый объем кода в программе. Сравнивая реализации на языках Java и Python без использования специализированных библиотек, можно прийти к выводу, что программа на языке Python более предпочтительно ввиду скорости работы и объема кода в программе.

Таким образом были выделены 2 реализации на языке Python, как наиболее предпочтительные по рассматриваемым характеристикам. Дальнейший выбор способа реализации остаётся за разработчиком, исходя из ресурса памяти и потребности в быстродействии.

Библиографический список

1. Указ Президента РФ от 5 декабря 2016 г. № 646 “Об утверждении Доктрины информационной безопасности Российской Федерации”
2. Организационно-правовое обеспечение информационной безопасности: учеб. пособие для вузов / под ред. А.А. Стрельцова. - М.: Академия, - 2008. - 249с.
3. Васильков А.В., Васильков А.А., Васильков И.А. Информационные системы и их безопасность: учеб. Пособие. - М.: Форум, 2010. – 528 с.
4. Евдокимова Л.М., Корябкин В.В., Пылькин А.Н., Швечкова О.Г. Электронный документооборот и обеспечение безопасности стандартными средствами WINDOWS»: учеб. пособие. -М.: КУРС, 2017. – 296 с.
5. Швечкова О.Г., Марчев Д.В., Пылькин А.Н. Базовые криптографические алгоритмы защиты информации»: учеб. пособие. - М.: КУРС, 2018. – 168 с.

СОДЕРЖАНИЕ

ИНФОРМАЦИЯ О V МЕЖДУНАРОДНОМ ФОРУМЕ «СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В НАУКЕ И ОБРАЗОВАНИИ» СТНО-2022».....	3
МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ «СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В НАУКЕ И ОБРАЗОВАНИИ. РАДИОТЕХНИКА И ЭЛЕКТРОНИКА».....	5
Секция «ЦИФРОВЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ».....	5
Костеневич Д.Р. 3D VISIONARY-S – Цветные перспективы точной складской автоматизации.....	5
Королев М.Д. Гребенчатые адаптивные фильтры в многоканальных системах подвижной радиосвязи.....	8
Виноградов Н.С., Витязев С.В. Оптимизация хранения кодового слова в LDPC декодере на FPGA.....	12
Ганин С.В. Оценка влияния декодеров на порог насыщения ошибки LDPC кодов.....	16
Кондратьев А.П. Оценка помехоустойчивости набора LDPC-кодов из стандарта по кодированию с исправлением ошибок флэш-памяти.....	21
Захаркин А.А., Витязев С.В. Исследование точности оценки variability сердечного ритма радиолокационным датчиком.....	26
Чигрина Т.А. Исследование методов снижения пик-фактора сигналов с OFDM.....	31
Косицына Д.И. Методика оценки дальности приема средствами радиотелеметрии при обеспечении лётных испытаний.....	34
Колесникова В.А. Перспективы развития рынка распределённых систем и сервисов телеметрии.....	37
Катков П.В. Использование процессора OMAP-1138 в цифровой обработке сигналов.....	40
Дудин П.А. Определение местоположения подвижных объектов в локальных беспроводных сетях.....	44
Секция «АКТУАЛЬНЫЕ ЗАДАЧИ ХИМИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ».....	48
Юдаев С.А., Ветшев К.А., Рубцова А.Д. Исследование влияния общей массы загрузки катализатора на его активность в процессе эпексидирования МЭЖК.....	48

Райович С.Н., Семенов А.Р. Минимизация производства товарного прямогонного бензина на АО «РНПК»	52
Степанов Д.В., Воробьева Е.В. Нормализация работы реактора окисления сернистого ангидрида установки производства серной кислоты.....	55
Малахова С.А. Анализ процесса хлорирования поверхности пористого кремния методом ИК-спектроскопии.....	59
Воробьева Е.В., Воронов М.В., Трунькин Д.С. Реконструкция схемы производства битумов.....	62
Хохлов И.В., Воробьева Е.В. Исследование процесса нейтрализации стоков гальванического производства.....	68
Лобанова М.С., Лобанова Л.И. Экологическая безопасность гальванического производства.....	71
А.Д.Пономарева, А.И.Становова, Ю.В.Игнатенко, В.С.Логинов, М.В.Лызлова, Т.П. Шуварикова Исследование ресурса работы моторных масел методом ИК-спектроскопии.....	74
Коваленко В.В., Кулавина Н.Ю., Шашкина Г.А., Агаршева Ю.С. Методика создания треугольной диаграммы в MS Excel.....	82
Коваленко В.В., Кулавина Н.Ю., Шашкина Г.А., Нахаева П.А., Д.В. Бузин Обработка экспериментальных данных методом наименьших квадратов в программе SMATHSTUDIO.....	87
Коваленко В.В., Кулавина Н.Ю., Шашкина Г.А., Артюх Е.О., Штукина М.М., Толмачева Е.М. Разработка параметрической 3D модели резервуара из 2D чертежа.....	92
Воробьева Е.В., Чихачев А.А., Ойцев М.Д. Изучение зависимости свойств нефтезагрязненных эмульсий от присутствия электролитов.....	96
Мекаева О.Р., Щербинина Ж.А., Логинов В.С., Лызлова М.В., Шуварикова Т.П. Исследование низкотемпературных свойств и спектральных характеристик дизельного топлива.....	100

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

Секция «СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ».....

Скворцов С.В., Хрюкин В.И. Система имитационного моделирования вычислительных процессов в однокристальном микропроцессоре.....	105
Ромашин Р.С. Проектирование печатной платы с использованием программного модуля PDN ANALYZER.....	108

Матрохин М.А. Информационно-логическая модель поддержки принятия решений при конструировании установки покрытия насыпью	116
Кашеев А.Н. Определение предельных характеристик испытательного стенда для системы слежения за объектом	120
Перепелкин Д.А., Ликучев В.Ю. Мультиагентный подход автоматизированного проектирования модулей радиоэлектронных устройств на основе анализа инженерных стратегий	124
Перепелкин Д.А., Нгуен В.Т. Задача многопутевой маршрутизации в программно-конфигурируемых сетях на основе алгоритма искусственной пчелиной колонии.....	132
Перепелкин Д.А., Фам А.М. Методика планирования и распределения ресурсов для корректировки времени выполнения операций в промышленных сетях.....	135
Игошина М.С. Система автоматизированного проектирования INTEL QUARTUS PRIME: достоинства и недостатки	140
Игошина М.С. Проектирование постоянного запоминающего устройства в базисе ПЛИС	145
Иванчикова М.А., Корнеев С.С. Исследование алгоритма управления виртуальными ресурсами облачного сервис провайдера	115
Сапрыкин А.Н. Обнаружение ошибок конфигурации циклическим избыточным кодом в ПЛИС семейства ALTERA CYCLONE IV	151
Секция «ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ И ЗАЩИТА ИНФОРМАЦИИ».....	155
Шоназаров П.М., Холов Ф.Т. Модернизация алгоритма водяного знака для улучшения объектов на основе кластеров и восприятий.....	155
Кузьмин Ю.М., Попов А.С., Курицин Д.А. Уязвимости смарт-контрактов.....	161
Бабанова Е.М., Кузьмин Ю.М. Проведение тестирования на уязвимость в соответствии с ГОСТ Р 58142-2018 и ГОСТ Р 58134-2018.....	164
Калинкина Т.И. Защита информации в информационных системах.....	168
Бузин В.С. Защита информации в облачных технологиях.....	173
Удовик М.О., Козырева Н.С. Определение угроз безопасности информации в информационных системах в соответствии с методикой ФСТЭК России.....	176

Рящин Е.М., Кузьмин Ю.М.

Безопасный и небезопасный код. Управление памятью в .net..... 184

Артёмов Я. А., Швечкова О. Г.

Анализ реализаций криптографического алгоритма для создания электронной
цифровой подписи DSA..... 187

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В НАУКЕ И ОБРАЗОВАНИИ

Научное издание

В 10 томах

Том 3

Под общей редакцией О.В. Миловзорова.

Подписано в печать 15.06.22. 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