Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Томский государственный университет
систем управления и радиоэлектроники (ТУСУР)

XV Международная научно-практическая конференция

ЭЛЕКТРОННЫЕ СРЕДСТВА И СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

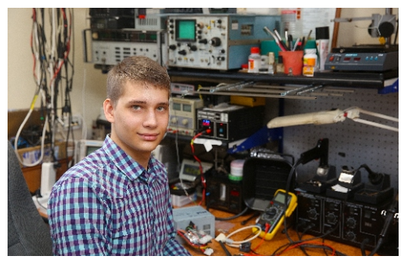
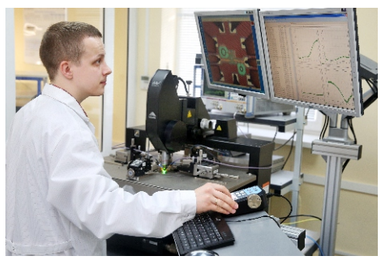
Материалы докладов

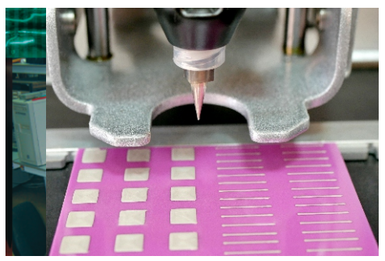
г. Томск

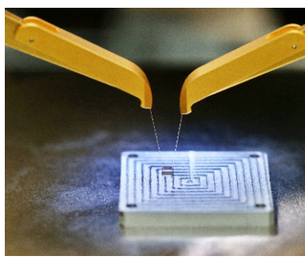
20–22 ноября 2019 г.

В двух частях

ЧАСТЬ 2





Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники (ТУСУР)

ЭЛЕКТРОННЫЕ СРЕДСТВА И СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

XV Международная научно-практическая конференция

20–22 ноября 2019 г.

Материалы докладов

В двух частях

Часть 2

В-Спектр
Томск – 2019

УДК 621.37/39 + 681.3
ББК (Ж/О) 32.84.85.965
Э 45

Э 45 **Электронные средства и системы управления**: материалы докладов XV Международной научно-практической конференции (20–22 ноября 2019 г.): в 2 ч. – Ч. 2. – Томск: В-Спектр, 2019. – 254 с.

Electronic Devices and Control Systems: XV International Scientific-practical Conference (November 20–22, 2019). – Part 2. – Tomsk: V-Spektr, 2019. – 254 p.

ISBN 978-5-91191-426-4
ISBN 978-5-91191-427-1 (Ч. 1)
ISBN 978-5-91191-428-8 (Ч. 2)

Сборник содержит материалы докладов, представленных на XV Международной научно-практической конференции «Электронные средства и системы управления» (Томск, 20–22 ноября 2019 г.), по следующим направлениям: радиотехнические и телекоммуникационные системы; наноэлектроника СВЧ; нанотехнологии в электронике; антенны и микроволновые устройства СВЧ; нелинейная оптика; интеллектуальная силовая электроника и преобразовательная техника; плазменная электроника; оптоэлектроника и фотоника; органическая и неорганическая полупроводниковая светотехника; электромагнитная совместимость; автоматизация и оптимизация систем управления и обработка информации; информационная безопасность; информационные технологии в управлении и принятии решений; информационные технологии в обучении; видеоинформационные технологии и цифровое телевидение; математическое моделирование в естественных и технических науках; электронное государство: предпринимательство и административное управление; Results of Postgraduate and Master Students' Research in the Sphere of Electronics and Control Systems (секция на английском языке).

Для студентов, преподавателей и специалистов, интересующихся проблемами систем управления.

УДК 621.37/39 + 681.3
ББК (Ж/О) 32.84.85.965

ISBN 978-5-91191-426-4
ISBN 978-5-91191-428-8 (Ч. 2)

© ТУСУР, 2019
© Коллектив авторов, 2019

СПОНСОР КОНФЕРЕНЦИИ – ООО «KEYSIGHT TECHNOLOGIES»

ООО «Кейсайт Текнолоджиз» Тел.: 495 797 39 00
Россия, 115054, г. Москва, Факс: 495 797 39 02
Космодамианская наб., 52, стр. 3. www.keysight.ru

Keysight Technologies – мировой технологический лидер на рынке контрольно-измерительных решений для электронной, оборонной, аэрокосмической и телекоммуникационной промышленности.

19 сентября 2013 г. компания Agilent Technologies объявила о разделении на две независимые компании за счет выделения подразделения электронных измерений в самостоятельную компанию. Новая компания – Keysight Technologies – с 01 августа работала как дочернее предприятие Agilent, окончательное разделение завершилось в 2014 г. В свою очередь, как самостоятельная компания Agilent Technologies была образована в 1999 г. в результате стратегического разделения компании Hewlett-Packard на HP и Agilent Technologies. Первый измерительный прибор под маркой Hewlett-Packard был выпущен 80 лет назад.

2019 г. стал юбилейным в истории компании Keysight Technologies. В этом году Keysight отмечает сразу 3 важные даты: 80 лет с момента основания в 1939 г. Б. Хьюлеттом и Д. Паккардом направления электронных измерений, 50 лет непрерывного сотрудничества и инноваций в России, 5 лет работы под новым именем! Построенная на фундаменте прошлых достижений, компания подтверждает все свои обязательства перед заказчиками – как в области дальнейшего развития измерительных технологий и приверженности высочайшему качеству продукции, так и в области гарантийного и сервисного обслуживания.

В настоящий момент компания Keysight Technologies предоставляет самый широкий на рынке спектр контрольно-измерительных решений, в том числе оборудование для радиоизмерений (генераторы сигналов, анализаторы сигналов, анализаторы цепей), осциллографы и приборы общего назначения (мультиметры, генераторы импульсов, системы сбора данных, источники питания, логические анализаторы), решения для проектирования и моделирования (в том числе решения для автоматизации разработки электронных устройств, решения для проектирования высокочастотных/смешанных интегральных схем, решения для электромагнитного моделирования пассивных трехмерных структур произвольной формы, решения для моделирования антенн и пр.), решения для тестирования в области телекоммуникаций, электроэнергетики, автомобилестроения и отрасли Интернета вещей.

В России приборы Keysight Technologies, ранее производимые под маркой Hewlett-Packard/Agilent Technologies, используются уже более 50 лет и по праву считаются наиболее точным и надежным контрольно-измерительным оборудованием на рынке.

Российский офис компании Keysight Technologies предлагает своим клиентам локальную техническую и сервисную поддержку, техническую документацию на русском языке. Для серий малогабаритных осциллографов, генераторов сигналов и анализаторов спектра разработаны русскоязычные интерфейсы пользователя. На большинство приборов есть сертификаты об утверждении типа средств измерений. На постоянной основе ведется работа по включению в Госреестр новых приборов Keysight Technologies.

Среди крупнейших клиентов Keysight Technologies в России ведущие научно-исследовательские институты, конструкторские бюро, вузы, крупнейшие операторы связи.

Большое внимание Keysight Technologies уделяет работе с высшими учебными заведениями по всему миру. За время своего существования компания накопила большой опыт успешного сотрудничества с академическим сообществом и предлагает высокотехнологичные и доступные решения для учебных лабораторий, совместные научно-технические мероприятия, методические и учебные материалы и профессиональные стажировки для студентов и молодых специалистов.

Самое современное оборудование и инновационные образовательные инициативы Keysight Technologies позволяют готовить высококвалифицированных профессионалов. Возможность учиться и работать с использованием новейшего оборудования и программного обеспечения является серьёзным мотивирующим фактором и стимулирует интерес студентов к инженерной работе и научным исследованиям.

В 2012 г. компания Keysight Technologies – этодва дополнительных региональных офиса в России – в Приволжском и Сибирском федеральных округах. В 2013 г. дополнительный офис открыт в Ростове-на-Дону, в 2014 г. – в Санкт-Петербурге.

Информация о компании Keysight Technologies доступна в сети Интернет по адресу: www.keysight.ru

Генеральный директор ООО «Кейсайт Текнолоджиз» – ***Смирнова Галина Владимировна***

СПОНСОР КОНФЕРЕНЦИИ – ООО «50ОМ ТЕХНОЛОДЖИЗ»

50ohm Technologies

ООО «50Ом ТЕХНОЛОДЖИЗ» +7-923-408-0408
info@50ohm.tech 50ohmTechRus
https://50ohm.tech/ru company/50ohm-technologies-llc
634031, г. Томск

Компания «50ohm Technologies» разрабатывает программное обеспечение для автоматизации измерений, построения моделей компонентов и проектирования ВЧ- и СВЧ-радиоэлектронных устройств.

«50ohm Technologies» предлагает решения задач автоматизации рабочих процессов с учётом индивидуальных особенностей предприятия. Миссия компании – обеспечить разработчиков СВЧ-устройств простыми и удобными инструментами, которые позволят реализовать их творческий потенциал.

Компания разрабатывает программные решения по направлениям:

- автоматизация процесса измерений;
- базы данных результатов измерений и их автоматическая обработка;
- автоматизация проектирования СВЧ-устройств;
- построение моделей электронных компонентов;
- подготовка научно-технической документации.

Компания обладает компетенциями в использовании методов искусственного интеллекта и экспертных систем. Внедрение данных технологий на предприятие позволяет перейти на качественно новый уровень и автоматизировать наиболее рутинные этапы бизнес-процессов.

50ohm Technologies предлагает услуги по разработке систем автоматизации измерений, реализуемых на основе оборудования заказчика. Использование готовых сценариев измерений конкретных компонентов и устройств в значительной степени сократит время тестирования и повысит эффективность измерений. 50ohm Technologies производит разработку решений автоматизированной генерации технической документации по типовым шаблонам – от оформления графиков до формирования готовых документов.

Компания обладает значительным опытом построения моделей пассивных и активных СВЧ-компонентов. Создание программного обеспечения на основе общепринятых и авторских методик в значительной степени упрощает и автоматизирует процесс построения моделей, уменьшая временные и финансовые затраты предприятия на данном этапе.

Наиболее сложным этапом в процессе проектирования СВЧ-устройства является получение схемотехнического и топологического решений. За годы научной работы коллектив получил успешный опыт разработки и использования программных модулей САПР, основанных на методах искусственного интеллекта. Такие программы позволяют получить целый набор решений, из которых разработчик может выбрать наиболее подходящее для дальнейшей реализации. Также компания занимается автоматизацией проектных операций в популярных коммерческих САПР СВЧ-устройств и интеграцией между ними.

Директор ООО «50ом Технолоджиз» – ***Калентьев Алексей Анатольевич***

СПОНСОР КОНФЕРЕНЦИИ – ГРУППА КОМПАНИЙ «НАУЧНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ»

Группа компаний «Научное оборудование»
630128, Россия, г. Новосибирск,
ул. Инженерная, 4а, оф. 212
Тел.: 383 330 8295
Тел.: 495 150 3295
www.spegroup.ru

Группа компаний «Научное оборудование» была образована в 1999 г. Основное направление деятельности компании – снабжение высокотехнологичным оборудованием учебных, научно-исследовательских и промышленных предприятий Сибири и Дальнего Востока России.

Мы анализируем задачи заказчика, подбираем оборудование под каждый конкретный случай, осуществляем поставку оборудования, а также оказываем технологическую и методологическую поддержку, гарантийный и послегарантийный ремонт. Некоторые наши заказчики доверяют нам полное закрытие всех потребностей своих лабораторий и в оборудовании, и в расходных материалах.

В штате компании состоят высококвалифицированные технические специалисты с собственным опытом научной работы. Наши специалисты регулярно знакомятся с новинками оборудования, с новыми подходами в приборостроении, посещают международные выставки и обучающие семинары от производителей. Для каждой задачи заказчика мы можем предложить самое современное решение. Существующие рабочие связи со многими лабораториями СО РАН позволяют оперативно привлекать к решению задач заказчика профильных научных специалистов. Кроме того, мы сами организуем мастер-классы и семинары, на которых наши заказчики имеют уникальную возможность попробовать новейшее оборудование для решения своих задач.

У нас налажены партнерские отношения со многими ведущими мировыми производителями научного и технологического оборудования как в России, так и за рубежом. У компании есть свой инженерный департамент; в случае необходимости мы можем самостоятельно разработать решение непосредственно под задачу заказчика.

Нашими заказчиками являются все академические институты Сибирского отделения Российской академии наук, многие промышленные предприятия, технологические компании, учебные заведения высшего образования Сибирского и Дальневосточного регионов.

Кроме деятельности по поставке и разработке оборудования, мы участвуем в продвижении разработок институтов СО РАН на внешний рынок, организуем совместные проекты институтов СО РАН с разными организациями по разработке конкретных технологических и наукоёмких решений.

Компания «Научные приборы и системы» строго следует закону и считает недопустимыми какие-либо компромиссы в правовом аспекте. Вся деятельность компании основана на соблюдении требований как российского законодательства, так и законодательства стран деловых партнеров, и осуществляется в соответствии с положениями Соглашения об использовании комплекса исключительных прав от 01 октября 2016 г.

Мы видим своей целью построение долгосрочных взаимовыгодных отношений с каждым нашим заказчиком.

Директор ООО «Научные приборы и системы» – ***Федоров Павел Леонидович***

Секция 11

ОРГАНИЧЕСКАЯ И НЕОРГАНИЧЕСКАЯ ПОЛУПРОВОДНИКОВАЯ СВЕТОТЕХНИКА

*Председатель секции – **Туев Василий Иванович,** зав. каф. РЭТЭМ, д-р техн. наук, профессор*

УДК 628.91

Д.В. Кожокару, М.В. Андреева, Е.С. Ганская

Исследование светотехнических свойств люминофорных композиций для светодиодов белого цвета свечения

Излагаются результаты исследований светотехнических свойств люминофорных композиций для светодиодов белого цвета свечения. Рассмотрена зависимость световой отдачи от толщины и концентрации люминофора. Исследованы светотехнические характеристики смесей люминофоров в композиции. Установлено, что наиболее эффективной для жёлто-зелёного люминофора является концентрация 12% по весту в компаунде; с увеличением толщины люминофорной композиции увеличивается световая отдача светодиода. Установлено, что при добавлении красного люминофора наблюдается существенное снижение световой отдачи, при этом коррелированная цветовая температура во всех случаях «тёплая» – не превышает 2300 К; самое высокое значение световой отдачи достигается при смешивании жёлто-зелёного с зелёным люминофором 7+3% соответственно; самый высокий индекс цветопередачи достигается при смешивании жёлто-зелёного с красным люминофором 7% + 3% соответственно.

Ключевые слова: люминофорная композиция, светодиодный кристалл, световая отдача, светотехнические характеристики.

Наибольшее распространение в настоящее время получили светодиоды белого цвета свечения на основе полупроводникового кристалла из нитрида галлия и его соединений с индием и алюминием, и люминофорной композицией на основе люминофора из иттрий-алюминиевого граната и оптически прозрачного компаунда [1]. Эффективность люминофорной композиции влияет на световую отдачу светодиода. Так, в работе [2] показано в 2006 г., что световой поток светодиода белого цвета в три раза выше светового потока светодиода синего цвета свечения. В 2012 г. японским учёным в лабораторных условиях удалось достичь световой отдачи 249 лм/Вт и индекса цветопередачи 93 в том числе за счёт добавления к люминофору жёлтого цвета свечения люминофоров зелёного и красного цвета свечения [3]. В 2014 г. за счёт совершенствования люминофорной композиции световой поток светодиода белого цвета стал в восемь раз превышать световой поток светодиода синего цвета [4]. В 2018 г. отношение световых потоков белого и синего светодиодов достигло десяти раз [5]. Таким образом, разработки в данном направлении являются чрезвычайно актуальными и позволяют существенно повысить световую отдачу светодиодов и индекс цветопередачи белых светодиодов до предельных значений световой отдачи 250–370 лм/Вт [6].

Целью работы является исследование светотехнических свойств люминофорных композиций для повышения световой отдачи светодиодов белого цвета свечения.

Результаты исследований распространяются на светодиоды, светодиодные матрицы и светодиодные излучающие элементы белого цвета свечения.

Описание материалов и комплектующих

В качестве связующего в люминофорной композиции используется оптически прозрачный компаунд ELASTOSIL ® Wacker Chemie AG серия RT 604, основные технические характеристики приведены в табл. 1.

Таблица 1

Основные технические характеристики компаунда

Наименование параметра	Единица измерения	Значение параметра
Плотность	г/см^3	0,97
Объёмное сопротивление	Ом·см	10^{15}
Диэлектрическая проницаемость		2,6
Условия отверждения (температура/время)		23 °С 24 ч 70 °С 30 мин 100 °С 8 мин 150 °С 5 мин

Для исследований выбраны три типа люминофоров (типы 1, 2, 3). Технические характеристики люминофоров приведены в табл. 2.

Таблица 2

Основные технические характеристики люминофоров

Наименование параметра	Единица измерения	Значение параметра
Тип 1 – L-550		
Внешний вид		Порошок желто-зеленого цвета
Размер частиц	мкм	30–32
Относительная интенсивность	%	102,2
Максимум спектра излучения	нм	552
Тип 2 – L-625		
Внешний вид		Порошок красного цвета
Размер частиц	мкм	15–25
Относительная интенсивность	%	100
Максимум спектра излучения	нм	628
Тип 3 – L-540		
Внешний вид		Порошок зеленого цвета
Размер частиц	мкм	15–20
Относительная интенсивность	%	100
Максимум спектра излучения	нм	528–542

Исследование зависимости световой отдачи от толщины и концентрации люминофора

Изготовлены макеты светодиодов в соответствии с рис. 1. Вариант А залит люминофорной композицией и с толщиной над кристаллом 1 мм. Люминофорная композиция отверждена в печи. Для изготовления вариантов Б и В на корпус светодиода приклеена пластмассовая шайба, заготовки залиты соответственно с толщинами 2 мм и 3 мм.



Рис 1. Способы заливки светодиода люминофорной композицией с люминофором

В первой части эксперимента концентрация люминофора составляла 9% от массы компаунда. Далее эксперимент повторён для концентраций люминофора в композиции 12 и 15%. С помощью фотометрического шара «ТКА-КК1» и источника-измерителя Keithley-2410 измерены значения прямого напряжения и светового потока при значении прямого тока 20 мА и температуре окружающей среды 25 ºС. По результатам измерений рассчитаны значения световой отдачи, которые приведены в табл. 3.

Способы заливки светодиода люминофорной композицией с люминофором типа – 1 представлены на рис. 4.

Установлено, что:

– наиболее эффективной для люминофора типа 1 является концентрация 12%;

– с увеличением толщины люминофорной композиции увеличивается световая отдача светодиода.

Таблица 3

Результаты измерений образцов светодиодов

Толщина, мм	Световая отдача, лм/Вт		
	9%	12%	15%
1	101,1	123,8	125,4
2	141,9	151,4	123,5
3	137,5	153,8	133,3

Исследования светотехнических характеристик смесей люминофоров в композиции

Проведены исследования смесей люминофорных композиций. Для этого, аналогично первому эксперименту, изготовлены заготовки макетов светодиодов. Результаты исследований приведены в табл. 4. Дополнительно измерены с помощью спектроколориметра коррелированная цветовая температура, спектры излучения и по спектрам излучения рассчитаны значения индекса цветопередачи. Измерения проведены при значениях прямого тока 10, 20 и 30 мА.

Таблица 4

Результаты исследований смесей люминофоров в композиции

Наименование параметра	Тип 1 – 7% + Тип 2 – 3%	Тип 1 – 7% + Тип 3 – 3%	Тип 2 – 7% + Тип 1 – 3%	Тип 2 – 7% + Тип 3 – 3%	Тип 3 – 7% + Тип 1 – 3%	Тип 3 – 7% + Тип 2 – 3%
Прямой ток 10 мА, температура окружающей среды 25 ºС						
Световая отдача, лм/Вт	113,71	144,92	77,86	71,09	132,93	76,04
Коррелированная цветовая температуры, К	2182	3900	1900	1950	4800	1955
Индекс цветопередачи	78	69	58	62	69	65
Прямой ток 20 мА, температура окружающей среды 25 ºС						
Световая отдача, лм/Вт	103,66	131,54	67,69	58,51	121,65	70,01
Коррелированная цветовая температуры, К	2268	4930	1910	2300	5000	1963
Индекс цветопередачи	79	72	64	72	70	71
Прямой ток 30 мА, температура окружающей среды 25 ºС						
Световая отдача, лм/Вт	97,40	120,82	60,70	49,02	112,32	64,82
Коррелированная цветовая температуры, К	2293	4985	1960	2300	5050	1984
Индекс цветопередачи	80	72	66	71	71	72

Из табл. 4 видно, что

– при добавлении красного люминофора наблюдается существенное снижение световой отдачи, при этом коррелированная цветовая температура во всех случаях «тёплая» – не превышает 2300 К;

– самое высокое значение световой отдачи достигается при смешивании жёлто-зелёного с зелёным люминофором 7% + 3% соответственно;

– самый высокий индекс цветопередачи достигается при смешивании жёлто-зелёного с красным люминофором 7% + 3% соответственно.

Выводы

Проведены исследования светотехнических свойства люминофорных композиций для светодиодов белого цвета свечения. Рассмотрена зависимость световой отдачи от толщины и концентрации люминофора. Исследованы светотехнические характеристики смесей люминофоров в композиции. Установлено, что наиболее эффективной для жёлто-зелёного люминофора является концентрация 12% по весту в компаунде; с увеличением толщины люминофорной композиции увеличивается световая отдача светодиода. Установлено, что при добавлении красного люминофора наблюдается существенное снижение световой отдачи, при этом коррелированная цветовая температура во всех случаях «тёплая» – не превышает 2300 К; самое высокое значение световой отдачи достигается при смешивании жёлто-зелёного с зелёным люминофором – 7% + 3% соответственно; самый высокий индекс цветопередачи достигается при смешивании жёлто-зелёного с красным люминофором – 7% + 3% соответственно.

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки в рамках проекта RFMEFI57717X0266.

Экспериментальные результаты получены с использованием оборудования УНУ «2D-плоттер» ЦКП «Импульс» при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ по соглашению 075-15-2019-1644, идентификатор проекта RFMEFI62119X0029.

Литература

1. Шуберт Ф. Светодиоды. – Пер. с англ. под ред. А.Э. Юновича. – 2-е изд. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008. – 496 с.

2. Никифоров С. Исследование параметров семейства светодиодов Cree Xlamp // Компоненты и технологии. – 2016. – № 11.

3. Narukawa Y., Ichikawa M., Sanga D., Sano M., Mukai T. White light emitting diodes with super-high luminous efficacy // Journal of Physics: Applien Physics. – 2010. – № 43.

4. Izotov S., Sitdikov A., Soldatkin V., Tuev V., Olisovets A. Study of phosphors for white LEDs // Procedia Technology. – 2014. – Vol. 18. – P. 14–18.

5. Tuev V.I., Soldatkin V.S., Andreeva M.V. et al. Investigation of phosphor compositions for led filament bulb // IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series 1115. – 2018. – P. 052012.

6. Thomas W., Murphy Jr. Maximum spectral luminous efficacy of white light // Journal of Applied Physics. – 2012. – № 111. – P. 104909.

7. Люминофор [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://nauchebe.net/2011/09/lyuminofory (дата обращения: 14.02.2018).

8. Шуберт Ф. Светодиоды [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://nashol.com/2013071672471/svetodiodi-shubert-f-2008.html (дата обращения: 9.03.2018 г.).

9. Светящиеся вещества (люминофоры) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.laborant.ru/eltech/09/6/0/05-96.htm ((дата обращения: 28.02.19).

Кожокару Дарья Вячеславовна
Студентка каф. РЭТЭМ РКФ ТУСУРа
Эл. почта: Dasha.kozhokaru@mail.ru

Андреева Мария Владимировна
Студентка каф. ФЭ ФЭТ ТУСУРа
Эл. почта: mariya_andreeva_97@bk.ru

Ганская Елизавета Сергеевна
Студентка каф. ФЭ ФЭТ ТУСУРа
Эл. почта: lizanka_ganskaya@mail.ru

УДК 628.971.6

Е.Н. Комлева

Модернизация светильника освещения улиц и дорог

Проведена модернизация светильника путем подбора и замены светодиодов. Представлены результаты определения эффективности светильника.

Ключевые слова: светильник, светодиод, световая отдача, эффективность.

Светильники стационарной установки предназначены для освещения открытых пространств, парковых и пешеходных зон, автомобильных дорог, тоннелей, промышленных объектов и зданий.

Корпус светильника выполнен в куполообразной форме, чтобы осадки смывались вместе с пылью, обеспечивая повышенное теплоотведение и устойчивость к воздействию окружающей среды. Корпус выполнен из алюминиевого сплава методом экструзии, лицевая сторона – из оптического ударопрочного поликарбоната. Расположение световых модулей и защитное стекло обеспечивают однородное освещение поверхности дороги.

Светильник устанавливается на трубу диаметром до 50 мм и фиксируется с помощью болтов из нержавеющей стали. Трубный кронштейн позволяет крепить устройство на световые мачты, Г-образные конструкции, козырьки зданий. Инновационный

драйвер сглаживает перепады напряжения, мерцание освещенности (менее 1%), гарантирует защиту от грозовых разрядов. Выпуклое защитное стекло из поликарбоната и оптика светодиодов обеспечивают благоприятное для улицы освещение [1].

Применяется отражательная система на основе многослойного алюминия, используемая в автомобильных фарах.

Основные преимущества:

– малое энергопотребление;
– устойчивость к внешним воздействиям;
– соответствие стандартам по ЭМС;
– отсутствие световых пульсаций;
– малое время включения, не более 1,5 с;
– срок службы не менее 10 лет;
– пожаробезопасность;
– экологическая безопасность;
– гарантия от производителя 3 года.

На рис. 1 показан общий вид светильника.

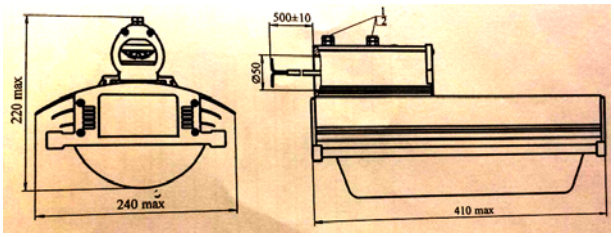


Рис. 1. Общий вид светильника: *1* – болт М8, *2* – гайка М8

Светильники серии SLED-Street сочетают в себе оригинальный дизайн и высокое качество света, которые помогают оживить улицы и территории современного города [2].

Светильник перестал удовлетворять современным требованиям по световой эффективности. Поэтому была поставлена задача модернизировать светильник.

Подбор светодиодов

Новые светодиоды взяты с электронных ресурсов производителей и дилеров, которые занимаются разработкой, производством и поставкой решений для светодиодной светотехники (например, ТД «НЕОН-ЭК»).

Одним из немаловажных требований была стоимость светодиода. Для светильника с большим количеством светодиодов подобраны оптимальные варианты по стоимости и параметров светодиодов.

Подбор светодиодов был осуществлен по параметрам: прямой ток, прямое напряжение, световой поток, коррелированная цветовая температура и индекс цветопередачи. В работе выбраны светодиоды разных производителей с разной цветовой температурой. Но они отличаются стоимостью и световым потоком, в связи с этим разработаны 4 конструктивных варианта светильника. Нужные светодиоды должны быть с прямым током на 350 или 150 мА, высокой световой отдачей (светоотдача светильника не менее 130 лм), невысокой стоимостью и цветовой температурой на 4000 и 5000 К.

Плата печатная модернизирована за счет замены светодиодов на более мощные.

На рис. 2 показаны характеристики подобранных светодиодов. На рис. 3 показаны расчеты параметров применительно для светильника в целом.

Зелёным цветом в таблицах выделены выбранные светодиоды – это Cree JK2835AWT-00-0000-000B0BN240E (Cree JK2835AWT-00-0000-000B0 BN250E) для диаграммы «Д» кривой силы света и Samsung SCP7RTF1HEL1RKP34E (Samsung SCP7 TTF1HEL1TKN34E) для диаграммы «Ш» кривой силы света. Разница этих светодиодов заключается в том, что одни – на цветовую температуру 4000 К, теплый белый свет, а другие – на 5000 К, холодный белый свет. Выбор светодиодов по цветовой температуре будет зависеть от заказчика. Поэтому разработаны две печатные платы с разными корпусами светодиодов [3].

На рис. 4 показаны выбранные светодиоды [4].

Проблема низкой светоотдачи решалась путем замены светодиодов. До модернизации в светильник устанавливались светодиоды KP2WH-080-Street (постоянный прямой ток – 700 мА, прямое напряжение – 3,2 В, световой поток – 260 лм, корпус размером 14,5×7,3×6,4) и светодиоды NS6W183BT (постоянный прямой ток – 350 мА, прямое напряжение – 3 В, световой поток – 143 лм, корпус 6,5×5×1,35 мм) при использовании этих светодиодов эффективность светильника составляет 97,15 и 113,99 лм/Вт. Первый светодиод состоит из двух чипов, а второй из одного чипа [5].

На рис. 5 показаны светодиоды, которые использовались до модернизации.

Производитель/Наименование	Корпус	Прямой ток типичный, мА	Падение напряжения, В	Световой поток типичный, лм	Эффективность типичная, лм/Вт	Цветовая температура,К	CRI	Стоимость, Руб./шт.
Cree JK2835AWT-00-0000-000B0BN240E	SMD 2835	150	6,2	140	150,5	4000	70	3,45
Cree JK2835AWT-00-0000-000B0BN250E	SMD 2835	150	6,2	140	150,5	5000	70	3,79
Cree JK3030AWT-00-0000-000B0HL240E	SMD 3,0x3,0	150	6	135	150,0	4000	80	4,1
Cree XPGDWT-BS-0000-00ME3	3,45x3,45 мм	350	2,73	176	184,2	5000	70	32,74
Cree XPGDWT-BS-0000-00ME5	3,45x3,45 мм	350	2,73	176	184,2	4000	70	31,95
Cree XTEAWT-E0-CSMD-00000BLE3	3,45x3,45 мм	350	2,77	168	173,3	5000	70	18,5
Cree XTEAWT-E0-CSMD-00000BLE5	3,45x3,45 мм	350	2,77	168	173,3	4000	70	20,07
Samsung SCP7RTF1HEL1RKP34E	2,36x2,36 мм	350	2,9	175	172,4	5000	70	17,48
Samsung SCP7TTF1HEL1TKN34E	2,36x2,36 мм	350	2,9	165	162,6	4000	70	17,48
Samsung SPHWH2L3D30CD4RTP3	3,5x3,5 мм	350	2,9	165	162,6	5000	70	18,28
Samsung SPHWH2L3D30CD4T0P3 (Q1)	3,5x3,5 мм	350	2,9	175	172,4	4000	70	18,28
Nichia NF2W757DRT-V1	3x3x0.52 мм	150	7,1	138	129,6	5000	80	51,05
Seoul Semiconductor STW8A12D	2.8x3.5x0.7	150	3,2	58,9	122,7	5000	80	1,65

Рис. 2. Характеристики подобранных светодиодов

Производитель/Наименование	Прямой ток, А	Падение напряжения, В	Световой поток светодиода, лм	Эффективность, лм/Вт	Количество светодиодов для 100 Вт, шт.	Световой поток светодиодов, лм	Стоимость светодиодов, руб.	Соотношение лм/RUB
Cree JK2835AWT-00-0000-000B0BN240E	0,14	6,15	135	156,79	105	14175	362,25	39,13
Cree JK2835AWT-00-0000-000B0BN250E	0,14	6,15	135	156,79	105	14175	397,95	35,62
Cree JK3030AWT-00-0000-000B0HL240E	0,14	5,96	124	148,61	110	13640	451	30,24
Cree XPGDWT-BS-0000-00ME3	0,35	2,73	172	180,01	96	16512	3143,04	5,25
Cree XPGDWT-BS-0000-00ME5	0,35	2,73	172	180,01	96	16512	3067,2	5,38
Cree XTEAWT-E0-CSMD-00000BLE3	0,35	2,77	164	169,16	96	15744	1776	8,86
Cree XTEAWT-E0-CSMD-00000BLE5	0,35	2,77	164	169,16	96	15744	1926,72	8,17
Samsung SCP7RTF1HEL1RKP34E	0,35	2,82	152	154,00	94	14288	1643,12	8,70
Samsung SCP7TTF1HEL1TKN34E	0,35	2,82	152	154,00	94	14288	1643,12	8,70
Samsung SPHWH2L3D30CD4RTP3	0,35	2,75	160	166,23	96	15360	1754,88	8,75
Samsung SPHWH2L3D30CD4T0P3 (Q1)	0,35	2,75	160	166,23	96	15360	1754,88	8,75
Nichia NF2W757DRT-V1	0,14	6,4	115	128,35	100	11500	5105	2,25
Seoul Semiconductor STW8A12D	0,14	3,2	55,8	124,55	205	11439	338,25	33,82

Рис. 3. Расчет параметров для светильника



а *б*

Рис. 4. Выбранные светодиоды:
а – SPHWH2L3D30CD4T0P3 (Q1)/ SPHWH2L3D30CD4RTP3,
б – JK2835AWT-00-0000-000B0BN240E/ JK2835AWT-00-0000-000B0BN250E



а *б*

Рис. 5. Светодиоды, использованные до модернизации:
а – KP2WH-080-Street, *б* – NS6W183BT

Драйвер в светильнике используется на 700 мА, сам светильник с входной мощностью на 100 Вт и с погрешностью ±5%. По этим данным был проведен расчет для определения фактической входной мощности светильника.

Расчет фактической входной мощности проводился по формулам:

$$P_{\text{факт}} = \frac{U_{\text{свет.мод}}}{\eta_{\text{драйв}}}, \quad (1)$$

где $\eta_{\text{драйв}}$ – КПД драйвера, равное 0,93; $P_{\text{факт}}$ – фактическая входная мощность светового модуля, Вт.

$$P_{\text{свет.мод}} = U_{\text{свет.мод}} \cdot I_{\text{драйв}}, \quad (2)$$

где $I_{\text{драйв}}$ – ток на выходе драйвера, мА; $P_{\text{свет.мод}}$ – мощность светового модуля, Вт.

$$U_{\text{свет.мод}} = n_{\text{посл}} \cdot U_{\text{свет}}, \quad (3)$$

где $n_{\text{посл}}$ – количество светодиодов, соединенных последовательно; $U_{\text{свет}}$ – падение напряжения светодиода, В; $U_{\text{свет.мод}}$ – входное напряжение светового модуля, В.

В табл. 1 представлены расчеты фактической входной мощности для светодиодов.

Таблица 1

Расчеты фактической входной мощности для светодиодов

Наименование/Производитель	$P_{\text{реальн.вх}}$, Вт
Cree JK2835AWT-00-0000-000B0BN240E	97,21
Cree JK2835AWT-00-0000-000B0BN250E	97,21
Cree JK3030AWT-00-0000-000B0HL240E	98,69
Cree XPGDWT-BS-0000-00ME3	98,63
Cree XPGDWT-BS-0000-00ME5	98,63
Cree XTEAWT-E0-CSMD-00000BLE3	100,07
Cree XTEAWT-E0-CSMD-00000BLE5	100,07
Samsung SCP7RTF1HEL1RKP34E	99,76
Samsung SCP7TTF1HEL1TKN34E	99,76
Samsung SPHWH2L3D30CD4RTP3	99,35
Samsung SPHWH2L3D30CD4T0P3 (Q1)	99,35

Новые светодиоды более мощные, габариты корпуса минимизированы и дешевле применяемых в настоящее время.

В данной работе спроектированы две печатные платы с разными размерами корпусов. В первом случае используются светодиоды Samsung с размерами корпуса 3,5×3,5 мм 96 шт. Во втором случае – светодиоды Cree с размерами корпуса SMD 2835. В расчете получилось 105 светодиодов, но важным критерием является симметрия светодиодов на печатной плате. В связи с тем, что из-за 5 светодиодов симметрии не получается, пришлось бы добавить их до 120 шт., было бы превышение по мощности. Тем самым было принято решение взять 100 светодиодов, при этом значение входит в рамки по мощности.

Расчет эффективности светильника

Световая эффективность, или же световая отдача, – это величина, которая используется для определения эффективности преобразования электрической энергии в свет и измеряется в люменах на ватт (лм/Вт) [5].

Этот параметр есть как у отдельного светодиода, так и у всего светильника, и они различны. От-

личаются эти показатели между собой из-за того, что световая отдача целого прибора претерпевает изменения вследствие потерь [7].

Расчет эффективности светильника проведен по формуле

$$\eta = \frac{\Phi \cdot \eta_{опт}}{P_{факт}}, \quad (1)$$

где Ф – световой поток взят из рис. 2; $\eta_{опт}$ – коэффициент оптики, равный 0,9.

Ниже приведены расчеты эффективности светильника с выбранными светодиодами (табл. 2).

Таблица 2

Расчеты эффективности светильника с выбранными светодиодами

Наименование/Производитель	η , лм/Вт
Cree JK2835AWT-00-0000-000B0BN240E/ Cree JK2835AWT-00-0000-000B0BN250E	131,24
Samsung SPHWH2L3D30CD4T0P3 (Q1)/ Samsung SPHWH2L3D30CD4RTP3	139,14

Заключение

Проведено проектирование светильника в четырёх модификациях, отличающихся по цветовой температуре и стоимости изготовления модуля светового.

Модернизирована конструкция печатного узла и подобраны новые светодиоды, что позволило увеличить эффективность светильника. Рассчитана эффективность светильника и её показатели выше 130 лм/Вт, цель данной работы выполнена.

Литература

1. Светильник SLED-Street-9-100 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://svetodiodnye-svetilniki.com/prod/street-9-100/ (дата обращения: 10.04.2019).

2. Литвинова М.Н., Солдаткин В.С., Туев В.И. Проектирование уличного освещения // Технические науки – от теории к практике. – 2013. – № 24. – С. 28–38.

3. Серебренникова И.В., Маломуж П.А., Солдаткин В.С., Туев В.И. Моделирование световых характеристик светодиода для систем освещения // Технические науки – от теории к практике. – 2013. – № 21. – С. 174–179.

4.ТД «НЕОН-ЭК» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://e-neon.ru/ (дата обращения: 10.04.2019).

5. Вилисов А.А., Гарипов И.Ф., Дохтуров В.В. и др. Светодиоды для поверхностного монтажа // 8-я Всерос. конф. «Нитриды галлия, индия и алюминия – структуры и приборы». – 2011. – 1 с.

6. C LED опыт [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://sledopt.ru/led-dictionary/svetovaja-jeffektivnost (дата обращения: 17.05.2019).

7. Гончарова Ю.С., Гарипов И.Ф., Солдаткин В.С. Ускоренные испытания полупроводниковых источников света на долговечность // Доклады ТУСУР. – 2013. – № 2. – С. 51–53.

Комлева Елена Николаевна
Студентка каф. РЭТЭМ РКФ ТУСУРа
Эл. почта: elena.komleva96@mail.ru

УДК 644.36

А.А. Максименко, Ю.И. Стасенко, В.С. Солдаткин

Определение температурного и электрического влияния на характеристики светодиодного излучающего элемента

Излагаются результаты исследования партии светодиодных излучающих элементов на воздействие повышенной температурой окружающей среды и повышенной электрической нагрузкой. Определены критические значения температуры окружающей среды и значения прямого тока светодиодного излучающего элемента. Установлено, что критической температурой окружающей среды для светодиодного излучающего элемента является значение 200 ºС при значении рабочего прямого тока 10 мА, а критическое значение прямого тока для светодиодного излучающего элемента является 21 мА при температуре окружающей среды 25 ºС.

Ключевые слова: светодиодный излучающий элемент, светодиодная лампа общего применения, конструктивно-технологический запас, термоэлектрическая нагрузка, ступенчатые испытания, тепловое сопротивление, температура *p–n*-перехода.

В мире вся светотехника в большей степени основана на светодиодных технологиях. В настоящее время светотехнические устройства можно разделить на три вида: устройства на единичных светодиодах, устройства на многокристальных сборках, где на каждый светодиодный кристалл нанесена люминофорная композиция, и устройства на многокристальных сборках, где все светодиодные кристаллы находятся под единой люминофорной композицией.

Единичные светодиоды уже в достаточной степени изучены в части их эффективности и надёжности, многокристальные сборки высокой плотности имеют ряд существенных отличий в этих критериях. В данной работе будут рассмотрены устройства на многокристальных сборках, где все светодиодные кристаллы находятся под единой люминофорной композицией. Актуальность данной цели связана с появлением на рынке такой продукции, как светодиодные лампы со светодиодными излучающими элементами ленточного типа (СИЭ).

Конструкция светодиодной лампы

Известны светодиодные лампы [1–3] на основе СИЭ, содержащие стеклянную колбу диаметром 65 мм, в которой размещен держатель и закреплена конструкция из 12 светодиодных излучающих элементов. В цоколь установлен источник питания, который соединён с цоколем и СИЭ. Строение лампы приведено на рис. 1.



Рис. 1. Строение филаментной лампы

Конструкция светодиодного излучающего элемента

Светодиодный излучающий элемент (СИЭ) применяется в светодиодных лампах общего применения, содержит протяжённую подложку длиной 38 мм, на которой размещено 28 шт. излучающих кристаллов, контактные выводы для присоединения к токовводам лампы и люминофорную композицию над излучающими кристаллами. Строение СИЭ приведено на рис. 2. Макеты СИЭ изготовлены в ТУСУР по [3].

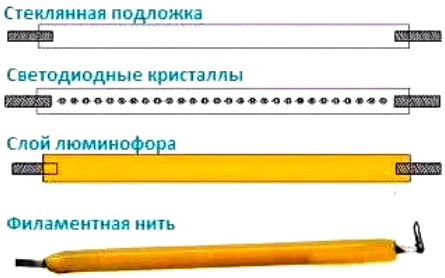


Рис. 2. Строение СИЭ

Экспериментальная часть

Для правильной эксплуатации СИЭ в лампе необходимо знать электрическое и температурное влияние на СИЭ. Методика эксперимента заключается в проведении испытаний на двух партиях идентичных макетов СИЭ.

С помощью источника-измерителя Keithley 2410 и фотометрического шара ФШ-1.0 (диапазон измерения светового потока от 7 до 3000 лм, погрешность измерений 10%) проведены измерения вольт-амперных характеристик (рис. 3), зависимостей светового потока от тока (рис. 4) и световой отдачи от тока СИЭ (рис. 5). С помощью источника-измерителя Keithley-2410 и электропечи «Снол» измерена зависимость прямого напряжения от температуры окружающей среды СИЭ (рис. 6).

Из рис. 3 видно, что вид вольт-амперной характеристики СИЭ соответствует виду типовой характеристики светодиода, а наклон обусловлен последовательно соединёнными кристаллами.

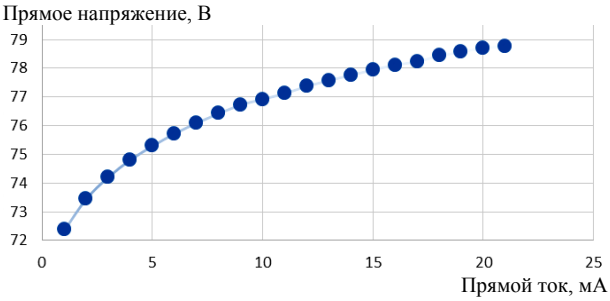


Рис. 3. Вольт-амперная характеристика СИЭ

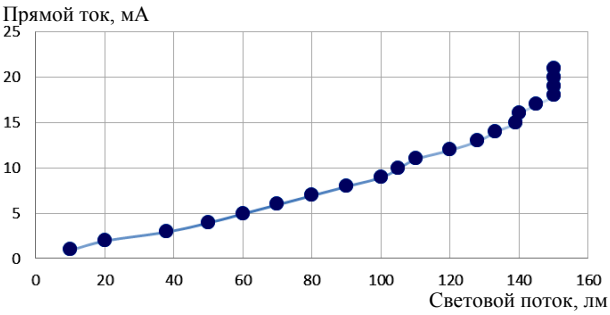


Рис. 4. Зависимость светового потока от прямого тока СИЭ

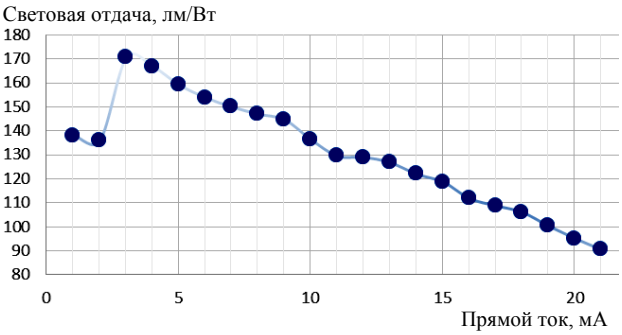


Рис. 5. Зависимость световой отдачи от прямого тока СИЭ

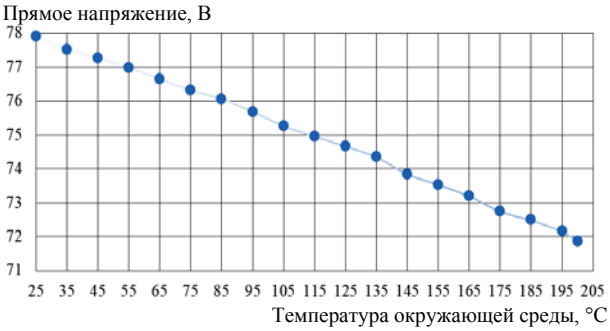


Рис. 6. Зависимость прямого напряжения от температуры окружающей среды СИЭ

Из рис. 4 видно, что вид зависимости светового потока от прямого тока СИЭ соответствует виду типовой характеристики светодиода.

На рис. 5 виден резкий рост световой отдачи при низких значениях прямого тока (2–3) мА, затем наблюдается снижение световой отдачи, которое носит линейный характер.

Проведены исследования указанных выше зависимостей на 8 шт. светодиодных излучающих элементов. Установлено, что предельный прямой ток составляет 21 мА, из 8 шт. 3 шт. вышли из строя при токе 16,2 мА, 4 шт. – при токе 19,75 мА.

Из рис. 6 видно, что вид зависимости прямого напряжения от температуры окружающей среды СИЭ носит линейный характер.

Выводы

Проведены исследования указанных выше зависимостей на 8 шт. светодиодных излучающих элементов. Установлено, что предельный прямой ток составляет 21 мА, из 8 шт. 3 шт. вышли из строя при токе 16,2 мА, 4 шт. – при токе 19,75 мА.

Зависимость прямого напряжения от температуры для макетов СИЭ носит линейный характер, критической температурой является значение 200 ºС. В диапазоне температур от 25 до 200 ºС значение прямого напряжения снизилось на 6,06 В. Соответственно при последовательном соединении 28 кристаллов на каждом кристалле значение прямого напряжения снизилось на 0,21 В.

Зависимость светового потока от прямого тока носит нелинейный характер, отклонения от типовой зависимости для нитридных светодиодов можно объяснить конструкцией СИЭ.

И в первом, и во втором варианте катастрофические отказы макетов СИЭ можно объяснить локальным перегревом контактных соединений кристаллов. Анализ вышедших из строя макетов показал, что ток через СИЭ не протекаем, соответственно причиной отказа является обрыв контактной проволоки.

Экспериментальные результаты получены с использованием оборудования УНУ «2D-плоттер» ЦКП «Импульс» при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ по соглашению 075-15-2019-1644, идентификатор проекта RFMEFI62119X0029.

Литература

1. Светодиодная лампа. Патент РФ 2546469 от 01.09.11, МПК F21V19/00 (2006/01) / ГЭ Шичао, ГЭ Техань, ЛЮ Хуабинь.

2. Доброзраков И.Е. Светодиодная филаментная лампа «Лисмы»: новое слово на рынке источников света // Светотехника. – 2015. – № 5. – С. 48–50.

3. Патент на изобретение №172287 РФ МПК F21K 9/00. Светодиодная лента для лампы // А.А. Вилисов, А.Ю. Олисовец, Ю.В. Ряполова, В.С. Солдаткин, Д.Г. Ста-росек, В.И. Туев. – Приоритет от 06.07.2016. – Заявка №2016122381, от 06.06.2016. – Опубликован 04.07.2017. – Бюл. № 19.

4. Солдаткин В.С., Ряполова Ю.В., Афонин К.Н. и др. Анализ срока службы светодиодных излучающих элементов // Доклады ТУСУР. – 2015. – № 3 (37).

5. Фотометрическое оборудование [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://goniometer.su/?yclid=894075711506898144 (дата обращения: 02.09.2019).

6. Солдаткин В.С., Афонин К.Н., Каменкова В.С., Ганская Е.С., Туев В.И. Определение температурной зависимости электрических и световых параметров светодиодных элементов в лампе общего назначения // Доклады ТУСУР. – 2017. – Т. 20, № 3. – С. 148–151.

7. Влияние температуры на ВАХ диода [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://studopedia.ru/19_416338_vliyanie-temperaturi-na-vah-dioda.html (дата обращения: 02.09.2019).

8. Современные методы измерения электрических воздействий на диоды и тиристоры [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://scask.ru/b_book_dit.php?id=77 (дата обращения: 02.09.2019).

Максименко Александр Алексеевич
Студент каф. РЭТЭМ РКФ ТУСУРа
Эл. почта: alex_m_1910@mail.ru

Стасенко Юрий Ильич
Студент каф. РЭТЭМ РКФ ТУСУРа
Эл. почта: yura-stas@mail.ru

Солдаткин Василий Сергеевич
Канд. техн. наук, доцент каф. РЭТЭМ ТУСУРа
Эл. почта: SoldatKinVS@mail.ru

УДК 644.36

Д.Б. Тудупова, А.Ю. Хомяков, В.С. Солдаткин

Исследования светотехнических характеристик светодиодного светильника для садоводства

Излагаются результаты исследования светотехнических характеристик светодиодного светильника для садоводства. В процессе работы измерены спектр и световой поток светодиодного светильника для садоводства со светодиодом по значению световой отдачи 172–193 лм/Вт и спектру излучения с максимумами в синей области оптического спектра части спектра (460 нм) и в красной области оптического спектра (643,7 нм).
Ключевые слова: светодиод, светотехнические характеристики, фотосинтетический поток, световой поток, спектр излучения.

Современные достижения и исследования влияния спектра излучения на процесс роста растений в теплицах подтверждают преимущества светодиодного освещения растений. Развитие и рост растения зависят от свойств освещения. Для садоводства синие и красные (460 и 630 нм) имеют преимущество [1].

Зависимость поглощения энергии и поглощения растениями длины волны светового излучения будет упоминаться как энергетический спектр фотосинтетически активной радиации (излучение). Чтобы влиять на прорастание, рост, торможение и другие процессы развития и стадии фотосинтеза, можно изменять радиационные компоненты красной и синей частей спектра [2].

Для максимального комфорта и роста растений необходимо изучить световые характеристики светодиода. Такие свойства включают в себя: световой поток, силу света, световую отдачу, свет, цветовую температуру, индекс цветопередачи, яркость, светимость, коэффициент пульсаций. [3].

Целью работы является исследование светотехнических характеристик светодиодного светильника для садоводства. На рис. 1 приведены фотографии образца светодиода.

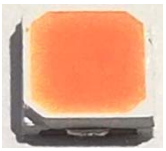


Рис. 1. Фотографии образцов светодиодов

С помощью спектроколориметра «ТКА-ВД» измерены спектральные характеристики образца светодиода и построен график на рис. 2.

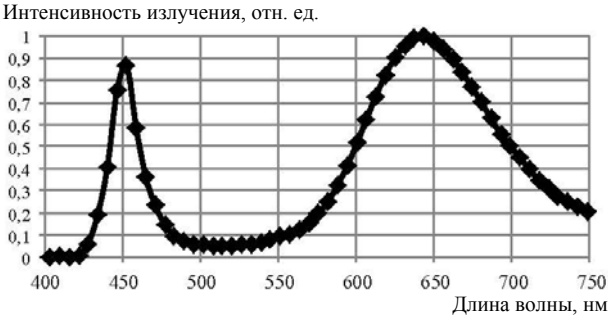


Рис. 2. Спектральные характеристики образца светодиода для садоводства

С помощью фотометрического шара «ТКА-КК1» измерен световой поток образца. Результаты измерений приведены в таблице.

Результаты измерений светового потока светодиода

Прямой ток, *I* (мА)	Прямое напряжение, *U* (В)	Световой поток, Ф (лм)	Мощность, *P* (Вт)	Световая отдача, *n* (лм/Вт)
10	2,63	5,1	0,0263	193,9163
20	2,7	10,15	0,054	187,963
30	2,75	15,05	0,0825	182,4242
40	2,79	19,79	0,1116	177,3297
50	2,83	24,4	0,1415	172,4382

Значение для оценки фотосинтеза зависит от влияния на растение фотосинтетического облучения EPAR (мкмоль/с^2). Это отношение фотосинтетического потока фотонов, падающих на небольшую часть поверхности, на поверхность этой части (плотность потока фотонов на поверхности) согласно PNST 211–2017 [3]:

$$E_{\text{фар}} = \int_{400\,\text{нм}}^{700\,\text{нм}} E_\lambda \frac{\lambda}{h \cdot c \cdot Na} d\lambda = K \int_{400\,\text{нм}}^{700\,\text{нм}} E_\lambda \cdot \lambda d\lambda, \qquad (1)$$

где E_λ – спектральная плотность энергетической облучённости, Вт/(м^2·с); λ – длина волны, нм; h = = 6,626·10^{-34} Дж·с – постоянная Планка; c = 3·10^{17}нм/с – скорость света; Na = 6,022·10^{17}мкмоль$^{-1}$ – число Авогадро; K = 8,36·10^{-3} мкмоль$^{-1}$·Дж$^{-1}$ – коэффициент.

С помощью спектроколориметра «ТКА-ВД» измерены значения светодиодных ламп на основе светодиодных излучающих элементов в процессе эксплуатации и по формуле (1) рассчитаны значения $E_{\text{ФАР}}$ (рис. 3).

зона		Фе, отн.	Sfyi	Ki,Вт/лм		Ее, Вт	PPFD(ФАР)
Ее	390-760 нм	207,3	57,88	0,0052	0,2833	58,73	$\left[\frac{\text{мкмоль}}{\text{с}\cdot\text{м}^2}\right]$
Ее син	400-500 нм	21,7	2,25	0,0141		6,16	23,7
Ее зел	500-600 нм	49,5	41,16	0,0018		14,03	65,0
Ее кр	600-700 нм	82,4	14,43	0,0084		23,34	127,3
Ее (PAR)	400-700 нм	153,6	57,82	0,0039		43,52	216,0

Рис. 3. Результаты измерений ФАР

Выводы

Осветительные свойства светодиодной лампы для садоводства были определены и исследованы. Результаты исследования показали: коэффициент отражения света 172–193 лм/Вт, спектр излучения с максимумами в красной области спектра оптического излучения 643,7 нм.

Экспериментальные результаты получены с использованием оборудования УНУ «2D-плоттер» ЦКП «Импульс» при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ по соглашению 075-15-2019-1644, идентификатор проекта RFMEFI62119X0029.

Литература

1. Туев В.И., Незнамова Е.Г., Солдаткин В.С., Хомяков А.Ю. Применение светодиодного освещения на разных стадиях выращивания культурных растений // Сб. науч. ст. 2-й Междунар. науч.-практ. конф. 24–26 ноября 2015 г.; Юго-Зап. гос. ун-т, ЗАО «Университетская книга»: в 2 т. – Т. 2. – С. 161–166.

2. Незнамова Е.Г., Солдаткин В.С., Кайкина Ю.А., Тимошенко П.В. Выращивание культуры огурца под светодиодным освещением в условиях малой агросистемы // Современная светотехника. – 2018. – № 3(53). – С. 46–47.

3. Neznamova E.G., Soldatkin V.S., Timoshenko P.V., Tuev V.I., Khomaykov A.J. The use of energy-efficient sources while growing a small quantity of the cucumber under the artificial lighting agricultural ecosystem // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. – 2019. – Vol. 224. – P. 012048. DOI:10.1088/1755-1315/224/1/012048

Тудупова Диана Баировна
Студентка ТУСУРа
Эл. почта: dianka_tudupova@mail.ru

Хомяков Артем Юрьевич
Инженер каф. РЭТЭМ ТУСУРа

Солдаткин Василий Сергеевич
Доцент каф. РЭТЭМ ТУСУРа
Эл. почта: SoldatKinVS@mail.ru

УДК 621.315.02

В.Н. Давыдов, О.Ф. Задорожный

Трехцветные гетероструктуры с управляемым смешением RGB-цветов

Рассматривается технология получения белого света на основе гетероструктуры InGaN/GaN, в которой белый цвет получают путем комбинации RGB-цветов без применения люминофора. Показано, что внесениея комбинированного профиля квантовых ям прямоугольной формы приводит к устранению неоднородности распределения интенсивности излучения для разных длин волн.

Ключевые слова: белый светодиод, комбинированные прямоугольные квантовые ямы, RGB-гетероструктура.

В настоящие время при создании источников белого излучения на основе светодиодных гетероструктур с множественными квантовыми ямами (КЯ) на излучающую поверхность кристалла наносится люминофор как элемент, преобразующий сгенерированное излучение из синей части спектра в излучение белого цвета [1]. Известно, что компоненты люминофора дороги, технология его нанесения на кристалл сложна, боится нагрева выше 100 °С и быстро деградирует в процессе эксплуатации (10%-я деградация эффективности преобразования света не более чем через полтора года работы) [2].

В этой связи важной задачей по созданию высокоэффективного источника белого света является задача создание источника белого света без люминофора.

В данной работе приводится расчет топологии гетероструктуры на основе барьера InGaN/GaN, в которой на одном кристалле изготавливаются квантовые ямы комбинированного профиля, генерирующие красный, зеленый и синий цвета – RGB-триаду с управляемым их смешением.

Получение белого цвета смешением RGB-цветов

В основу данного способа положена возможность получения белого цвета путем смешения цветов: красного (R), желтого (G) и синего (B). Для их получения в гетероструктуре с МКЯ вместо отдельной ямы наносятся три слоя $In_xGa_{1-x}N$ с разным содержанием индия, разделенные барьерными слоями. Особенностью топологии данной триады является использование для генерации трех цветов трех квантовых ям одинаковой толщины в одной гетероструктуре (рис. 1).

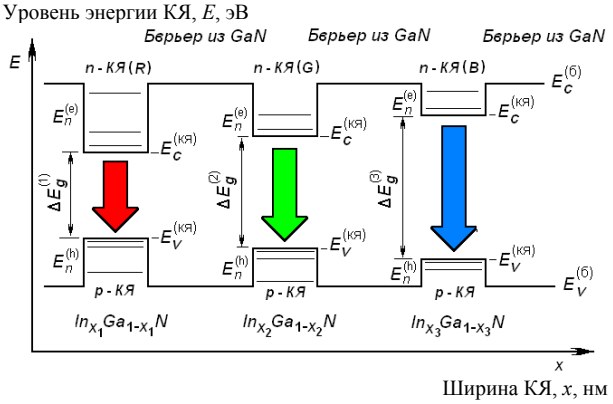


Рис. 1. Энергетическая диаграмма RGB-гетероструктуры

Необходимая ширина запрещенной зоны в каждой яме достигается заданием определенного процентного содержания In в $In_xGa_{1-x}N$ индием, проводимого в процессе роста слоя квантовых ям.

Требуемое процентное содержание индия в газовой среде реактора МЛЭ при выращивании *к*-й квантовой ямы рассчитывается по формуле (в эВ)

$$\Delta E_g^{(\kappa)}(x) = 3{,}40 - 2{,}63 \cdot x\,. \qquad (1)$$

Значение величины энергетического зазора для излучательной рекомбинации в каждой яме больше ширины запрещенной зоны КЯ и составляет следующие значения: для получения красного цвета $\Delta E^{(1)} \equiv 1{,}94$ эВ; для ямы зеленого цвета $\Delta E^{(2)} \equiv 2{,}25$ эВ и для ямы, генерирующей синий цвет, $\Delta E^{(3)} \equiv 2{,}75$ эВ. Различие в величинах $\Delta E_g^{(\kappa)}(x)$ и $\Delta E^{(\kappa)}(x)$ вызвано тем, что излучательная рекомбинация идет преимущественно между первыми уровнями размерного квантования для электронов $E_1^{(n)}(x) = \hbar^2\pi^2 / 2a^2 m_n^*(x)$ и для дырок $E_1^{(p)}(x) = \hbar^2\pi^2 / 2a^2 m_p^*(x)$. Их энергии зависят от эффективных масс носителей заряда, которые в свою очередь зависят от x по линейному закону:

$$m_n^*(x) = m_n^*(GaN) - \left[m_n^*(GaN) - m_n^*(InN)\right]\cdot x = (0{,}20 - 0{,}09x)\cdot m_0;$$

$$m_p^*(x) = m_p^*(GaN) - \left[m_p^*(GaN) - m_p^*(InN)\right]\cdot x = (0{,}80 + 0{,}83x)\cdot m_0.$$

Тогда точная формула для вычисления требуемого значения x для нахождения требуемой длины волны генерируемого излучения *k*-й КЯ такова:

$$\Delta E_g^{(\text{кя})}(\text{эВ}) = \left(\frac{hc}{q\lambda_\kappa}\right) - \frac{\hbar^2\pi^2}{2qa^2}\left(\frac{1}{m_n^*(x_\kappa)} + \frac{1}{m_p^*(x_\kappa)}\right) = 3{,}40 - 2{,}63\cdot x_k. \qquad (2)$$

Здесь $\Delta E_g^{(\text{кя})}(\text{эВ})$ – ширина запрещенной зоны вещества квантовой ямы на заданную длину волны λ_k. Нетрудно видеть, что попытка решить равенство (2) относительно неизвестного x_k приводит к уравнению третьей степени, что нежелательно. Проще это равенство можно решить графическим способом, для чего левую и правую части равенства (2) обозначим соответственно

$$Y_1(x) = \left(\frac{hc}{q\lambda_\kappa}\right) - \frac{\hbar^2\pi^2}{2qa^2}\left(\frac{1}{m_n^*(x)} + \frac{1}{m_p^*(x)}\right);$$

$$Y_2(x) = 3{,}40 - 2{,}63 \cdot x. \qquad (3)$$

Тогда верхняя зависимость в (3) будет представлять собой гиперболу, а нижняя – прямую линию, исходящую из начала координат. При этом аргумент в данных зависимостях может принимать значения в диапазоне от нуля и до единицы. Решением данных уравнений для заданного значения k =1, 2, 3 будет точка пересечения x_k зависимостей $Y_1(x)$ и $Y_2(x)$ (рис. 2).

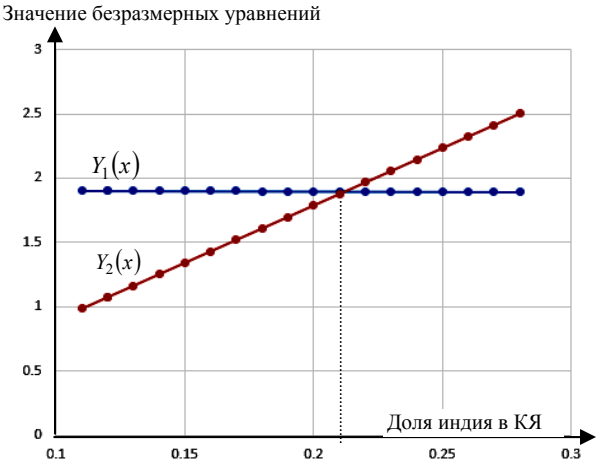


Рис. 2. Решение неравенства (3) графическим методом

В результате получим следующие параметры содержания индия и ширины квантовой ям, обеспечивающих генерацию излучения требуемых длин волн.

«Размеры квантовых ям при доле индия (In) 0,2 в RGB-гетероструктуре»

λ, мкм	*x*	*a*, нм
0,65	0,21	4
0,55	0,26	
0,45	0,3	

Отметим важную особенность светодиод-ных гетероструктур, генерирующих излучение на разных длинах волн. Поскольку содержание индия в растворе InGaN увеличивается при переход от синего цвета к желтому, а затем красному, то в процессе эксплуатации таких светодиодов с течением времени интенсивность красного и зеленого светодиодов уменьшится за счет выделения индия в виде второй фазы в квантовых ямах. Это приведет к рассогласованию в комбинации RGB, а значит изменению цвета суммарного излучения и его уходу от белого цвета. ия разной длины квантовыми ямами, особенно четко обнаружива-емая после непродолжительной эксплуатации

Баланс смешения RGB-цветов

КЯ комбинированного профиля обладают более плотным энергетическим спектром, чем одиночные ямы той же глубины и толщины [3], что в теории позволит сбалансировать спектр излучения белого светодиода, использующего управляемое смешения RGB-цветов и добиться высокого показателя эффективности преобразования электрического тока в световое излучение. Комбинированный профиль КЯ будет применяться только для двух КЯ, излучающих в зеленой и красной областях спектра. Это следует из предположения о том, что именно на данных длинах волн будет происходить отставание по спектре излучения.

Для того чтобы точно задать размеры комбинированного профиля КЯ таким образом, чтобы добиться сбалансированого смешения RGB-цветов, необходимо снять спектральную характеристику гетероструктуры, с множественными прямоугольными КЯ, выращенными по заданным параметрам, представленным в таблице. Исходя из полученных результатов, можно будет определить, на сколько сильно разнятся друг от друга спектры излучения каждой длины волны, тем самым определив параметры будущей RGB-гетероструктуры с комбинированными КЯ, которые обеспечат нужный баланс цветов. Отставание в распределении спектра будет зависеть от разного рода факторов, начиная от выбора материала КЯ. Так, например, использование индия (In) приводит к вырождению материала при его нагреве, создавая определенные трудности в производстве КЯ, излучающих в области красных длин волн, и заканчивая случайными дефектами, полученными на стадии роста структуры [2]. По этой причине вариантов исполнения подобной топологии с МКЯ комбинированного профиля может быть огромное множество, но в рамках данной работы для того, чтобы наглядно показать, как будет выглядеть профиль RGB-гетероструктур с комбинированными КЯ, зададим некоторый средний параметр отставания для цветов.

Предполагается, что интенсивность излучения генерируемой красной – КЯ(R) будет ниже интенсивности излучения синей – КЯ(B) в 1,5 раза, тогда как зеленая – КЯ(G) будет уступать КЯ(B) в 1,7 раза. Откуда задаются условия для комбинированных КЯ, при которых наблюдается сбалансированное смешение триады RGB-цветов. В данном конкретном примере комбинированная КЯ будет составлена только из двух прямоугольных КЯ, так как их усиливающего эффекта будет вполне достаточно для получения нужного результата.

Для КЯ(R):

$$\frac{I_{\text{ГС}}^{(\text{комб})}}{I_{\text{ГС}}^{(\text{один})}} = 1 + R^2 = 1{,}7\,.$$

Для КЯ(G):

$$\frac{I_{\text{ГС}}^{(\text{комб})}}{I_{\text{ГС}}^{(\text{один})}} = 1 + R^2 = 1{,}5\,,$$

где $R = N_2 / N_1 = (1{,}7 - 1)^2 = 1{,}4$, откуда получим, что для создания 1,7- либо 1,5-кратного усиления интенсивности излучения в КЯ необходимо, чтобы количество разрешенных уровней энергий в «широкой» квантовой яме превышало количество уровней в «узкой» приблизительно в 2 раза.

Исходя из заданных условий, определим размеры будущей гетероструктуры с МКЯ. Для простоты решения воспользуемся моделью не взаимодействующих квантовых ям с комбинированным прямоугольным профилем, решение которого сводится к убывающей геометрической прогрессии (4). При увеличении числа УРК в прямоугольной КЯ путем ее составления из двух и более ям указанного профиля разной толщины нужно понимать, что толщины всех ям не должны превышать длину волны де Бройля, но каждая вышележащая яма делается толще предыдущей (рис. 3).

Количество комбинируемых КЯ, в нашем случае двух прямоугольных, зависит от общей глубиной ямы, определяемой как разность энергий дна зоны проводимости вещества барьерного слоя и вещества ямы $\Delta E_C = E_C^{(б)} - E_C^{(кя)}$, и могут быть вычислены следующим образом:

$$\Delta E_C\,(\text{эВ}) \cong 4\frac{\pi^2\hbar^2}{2em_n^* a_1^2}\sum_{k=0}^{m-1}\left(\frac{a_1}{a_k}\right)^2 + m\cdot\left(\frac{kT}{e}\right) = $$

$$= 4\frac{\pi^2\hbar^2}{2em_n^* a_1^2}\left(\frac{q^2}{q^2-1}\right) + m\cdot\left(\frac{kT}{e}\right), \qquad (4)$$

где a_1 – толщина нижней КЯ, q – коэффициент геометрической прогрессии, задается разработчиком и может быть любым, но не меньшим единицы (1,7 – для красного цвета), $a_k = a_{k-1}\cdot q$, откуда могут быть вычислены размер узкой КЯ путем подстановки значения процентного содержания индия в соответствии с заданной длиной волны излучения для красной и зеленой КЯ (рис. 3).

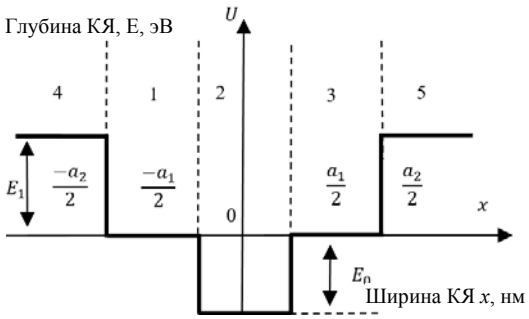


Рис. 3. Модель комбинированной КЯ при комбинации двух ПКЯ

Размеры «узкой» квантовой ямы для двух комбинированных КЯ, входящих в состав RGB-гетероструктуры, задаются одинаковыми, так как положение уровней размерного квантования в КЯ определяется долей содержания индия в растворе (задаются глубиной КЯ), которое уже рассчитано и представлено в таблице. Соответственно, зная концентрацию индия в растворе, а также длину волны излучения каждой КЯ, ширина «узкой» КЯ была получена, подставив все этих значения в соответствующую формулу.

Для КЯ(R):

$$a_1 = \sqrt{\frac{\pi^2\hbar^2}{2em_n^*\cdot(\Delta E_c - 3kT)}} = 4,\ \text{нм}\ .$$

Для КЯ(G):

$$a_1 = \sqrt{\frac{\pi^2\hbar^2}{2em_n^*\cdot(\Delta E_c - 3kT)}} = 4,\ \text{нм}.$$

Толщины двух «широких» КЯ получены путем умножения толщины первой ямы на знаменатель прогрессии в первой степени, который определяется из условия усиления и будет вносить эффект уплотнения спектра излучения.

Для КЯ(R):

$$a_1 : a_2 = 4{:}6,\ \text{нм}.$$

Для КЯ(G):

$$a_1 : a_2 = 4{:}6{,}68,\ \text{нм}.$$

Полученные таким образом размеры комбинированных КЯ были внесены в топологию белого светодиода, энергетическая диаграмма которой представлена на рис. 4.

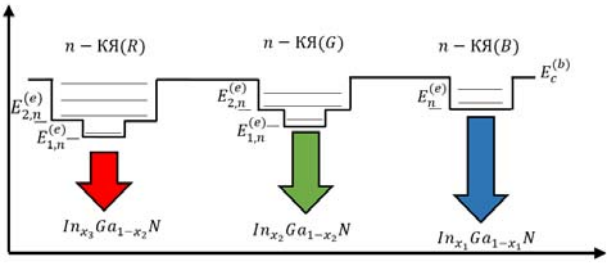


Рис. 4. Энергетическая диаграмма RGB-гетероструктуры с комбинированными квантовыми ямами

В действительности энергетический спектр комбинированной КЯ, полученной объединением узкой и широкой прямоугольных ям, не будет суммой объединяемых ям из-за их взаимодействия. Вдали от линии объединения ям спектр комбинированной КЯ будет мало отличаться от спектра соответствующей КЯ, тогда как вблизи линии изменения будут максимальны вплоть до исчезновения отдельных уровней размерного квантования. Точный расчет спектра ПКЯ можно провести с использованием модели ямы с «дополнительным потенциальным провалом», изложенной в работе [4]. Однако данный факт не сильно скажется на итоговом результате, так как необходимый эффект уплотнения интенсивности излучения с введением комбинированной ямы сохранится, независимо от методики расчета, а взаимодействия уровней вблизи линии пространственного объединения КЯ не повлияет на общий результат, так как данные уровни играют только вспомогательную роль, захватывая и накапливая потенциальную энергию электронов внутри ямы. Основная часть из этих электронов будет спускаться по уровням ко дну КЯ и рекомбинировать вдали от линии взаимодействия на первых двух излучательных уровнях.

Выводы

Предложен метод получения белого цвета путем управляемого смешения триады RGB-цветов в комплексе с комбинированным профилем квантовой

ямы, который обеспечивает более плотный энергетический спектр, что позволяет создать более долговечные и дешевые светодиоды белого цвета без люминофорных покрытий.

Приведенный расчет может быть использован не только для проектировки RGB-гетероструктуры, выращенной на основе InGaN , но также и для других материалов, например AlGaAs .

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки в рамках проекта RFMEFI57717X0266.

Литература

1. Мартинес-Дуарт Дж.М., Мартин-Палма Р.Дж. и др. Нанотехнологии для микро- и оптоэлектроники. – М.: Техносфера, 2007. – 368 с.

2. Шуберт Ф. Светодиоды. – М.: Физматлит, 2008. – 500 с.

3. Задорожный О.Ф., Давыдов В.Н. Уровни размерного квантования в квантовых ямах различного профиля // Матер. докл XIV Междунар. науч.-практ. конф. «ЭС и СУ», Томск, 28–30 ноября 2018 г.: в 2 ч. – Томск: В-Спектр, 2018. – Ч. 1. – С. 160–163.

4. Драгунов В.П. Основы наноэлектроники: учеб. пособие / В.П. Драгунов. И.Г Неизвестный, В.А. Гридчин. – М.: Логос, 2006. – 496 с.

Давыдов Валерий Николаевич
Д-р физ.-мат. наук, проф. каф. ЭП ТУСУРа
Эл. почта: dvn@fet.tusur.ru

Задорожный Олег Федорович
Аспирант каф. ЭП ТУСУРа
Эл. почта: Oleg9300@mail.ru

УДК 628.9:519.6

А.Г. Саинский, В.С. Солдаткин, А.И. Черепнев

Исследование тепловых характеристик светодиода

Излагаются результаты исследования электрических и тепловых характеристик светодиода. В качестве объекта исследований выбран светодиод размерами 5×5 мм, изготовленный на основе кристаллов из нитрида галлия. Тепловые характеристики определялись с помощью тепловизора optpi450o38t900. По результатам исследований построены зависимости температуры от прямого тока и световой отдачи от прямого тока. При анализе данных установлено, что при достижении значения 20 мА наблюдается резкое повышение световой отдачи светодиода с люминофорной композицией.

Ключевые слова: светодиод, температура кристалла, люминофорная композиция.

Тенденция развития рынка световой продукции развивается таким образом, что лидирующее место сейчас и в дальнейшем определенно диктуется светодиодными источниками света. В условиях экономии электроэнергии светодиодная продукция является настоящим прорывом. Светодиоды не уступают по силе светового потока предшественникам, однако расходуют во много раз меньше электроэнергии [1, 2]. Самые распространенные и используемые в массовом хозяйстве светодиоды – это белые светодиоды в металлопластиковом корпусе 5×5 мм типа lateral chip [3]. Эти светодиоды применяются в различных устройствах для бытового, офисного, уличного освещения, а также для подсветки экранов телевизоров и т.д. Известно [1, 2], что в настоящее время учеными создаются все более экономичные источники света. Но настоящим прорывом в этой области стало изобретение светодиодов, которые не уступают по силе светового потока предшественникам, однако расходуют во много раз меньше электроэнергии. Наибольшее распространение получили белые светодиоды для поверхностного монтажа в металлопластмассовом корпусе 5×5 мм. Они широко применяются в офисных светильниках типа «Армстронг», уличных светильниках и в качестве подцветки в жидкокристаллических телевизорах.

В таких светодиодах температура играет важную роль. Исходя из [4], эффективность и стабильность работы сильно зависит от температурных условий работы кристалла. Несоблюдение температурного режима уменьшает срок службы светодиода, а также эффективность в целом. Происходят как физические (лавинные пробои), так и химические процессы (окисление металлической подложки) деградации светодиода [5]. Также стоит понимать, что при использовании компаундного силиконового люминофора возможна температурная деформация, что повлечет за собой перераспределение светового потока. В целом повышенная температура ускоряет физико-химические процессы деградации светодиодного кристалла и люминофора. Влияние температуры на срок службы светодиода описано в [6]. Именно поэтому важно знать зависимость температуры от основных электрических и световых характеристик.

Так как теплопроводность люминофорной композиции, примерно на 90% состоящей из компаунда на основе силикона, не превышает 0,05 Вт/м·К, то основная часть тепла отводится по пути наименьшего теплового сопротивления через подложку на металлическое основание СИЭ (светоизлучающий элемент) [6]. Зная это, можно сделать вывод, что срок службы светодиода без компаунда в условиях повышенной температуры будет выше, что и подтвердится экспериментально в работе.

Объектами исследования являются два одинаковых макета светодиодов с кристаллом арсенида галлия. Первый образец без люминофорной композиции; второй с нанесенной люминофорной композицией. На рис. 1 представлена фотография образцов. В отражатель одного из образцов светодиода (образец № 2) нанесена люминофорная композиция. Второй образец без люминофорной композиции (образец № 1).

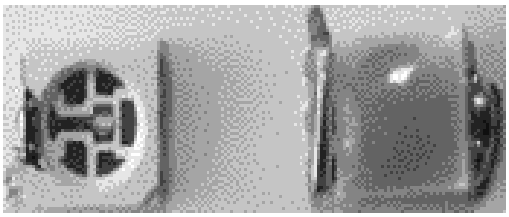


Рис. 1. Макетные образцы светодиодов:
образец № 1 (слева), образец № 2 (справа)

Для исследования тепловых характеристик светодиодов использовался тепловизор OPTPI450o38t900 (рис. 2). Основные характеристики представлены в таблице.



Рис. 2. Тепловизор OPTPI450o38t900

Основные характеристики тепловизора OPTPI450o38t900

Диапазон измерений	–20–900 °C
Спектральное разрешение	7,5μм
Системная погрешность	±2 °C

Методика измерения. К источнику тока подключались сразу два образца в разные каналы. На источнике тока изменяли значения силы тока на светодиодах в режиме стабилизации по напряжению. Далее при помощи тепловизора снимали значения температуры на образцах с шагом измерения 2 мА. Полученные результаты представлены на рис. 3.

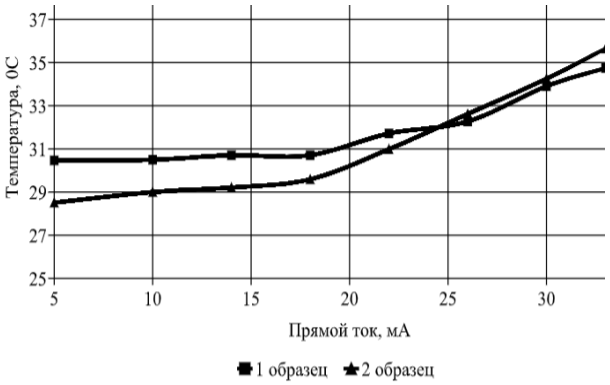


Рис. 3. Зависимость температуры
от прямого тока макетных образцов светодиодов

С помощью тепловизора OPTPI450o38t900 проведены измерения зависимости температуры от прямого тока на макетных образцах светодиодов.

Как видно из рис. 3, при минимальном токе свечения светодиода и до значения номинального тока (20 мА) оба образца ведут себя одинаково, и температура не изменяется (в пределах погрешности прибора), причем температура образца с люминофором изначально меньше образца без люминофора. Это объясняется большой теплоемкостью люминофорной композиции. При достижении номинального тока и выше температура обоих образцов начинает линейно возрастать, причем на образце с люминофором более интенсивно. Это происходит ввиду поглощения фотонов в люминофорной композиции, вследствие чего люминофор нагревается более интенсивно.

Из рис. 3 видно, что с ростом прямого тока увеличивается температура. На начальном участке зависимости у образца № 2 температура ниже. Это можно объяснить тем, что люминофорная композиция имеет низкую теплопроводность, следовательно, основной отвод тепла осуществляется через контакты светодиода. При значении прямого тока выше 20 мА наблюдается рост температуры. Видно, что при токе выше 25 мА макетный образец светодиода с люминофорной композицией (образец № 2) начинает греться сильнее, чем образец № 1. Данный факт связан с тем, что при повышении светового потока излучения с ростом прямого тока в светодиоде с люминофорной композицией начинается выделение тепла на частицах люминофора вследствие поглощения фотонов.

Основной характеристикой эффективности светодиода является его световая отдача. Поэтому для исследования эффективности светодиода было решено измерить и вычислить зависимость световой отдачи от температуры светодиода. Световой поток измерялся в шаре Ульбрихта с таким же шагом и при таких же параметрах измерения, как и в предыдущем эксперименте. Зависимость световой отдачи от значения прямого тока представлена на рис. 4, где отчётливо наблюдается резкий рост световой отдачи при прямом токе выше 20 мА и затем выходит на линейный участок кривой.

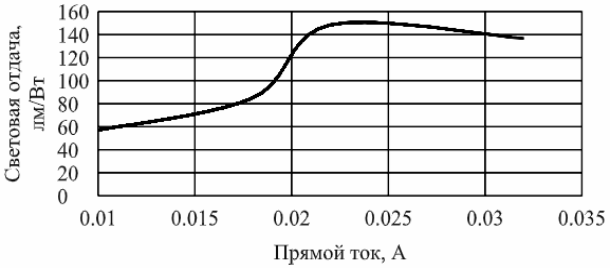


Рис. 4. Зависимость световой отдачи от прямого тока
для светодиода с люминофорной композицией

Из рис. 4 видно, что от минимального тока свечения и до достижения номинального тока световая отдача увеличивается линейно. Это происходит за

счёт увеличения количества излучательных рекомбинаций в светодиоде. Когда значение прямого тока достигает номинального, то происходит резкое увеличение световой отдачи. Это объясняется выходом светодиода на «рабочий режим», и все носители заряда участвуют в рекомбинации. До значения тока 25 мА световая отдача не изменяется, а после начинает постепенно уменьшаться. Это происходит из-за того, что все носители заряда уже участвуют в рекомбинации и подаваемая на светодиод мощность преобразуется не в свет, а в тепло, что подтверждает рис. 3.

Рост световой отдачи после значения прямого тока 20 мА можно объяснить тем, что световой поток кристалла достиг значения, которое соответствует максимуму эффективности работы люминофора.

Выводы

Установлено, что при достижении значения прямого тока 20 мА наблюдается резкое повышение световой отдачи.

Построены зависимости прямого тока от температуры. Обнаружено, что температура СД с люминофором меньше, чем без него, но при достижении тока 25 мА температура СД с люминофором становится больше.

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки в рамках проекта RFMEFI57717X0266.

Литература

1. Шуберт Ф. Светодиоды / Пер. с англ. под ред. А.Э. Юновича. – 2-е изд. – М.: Физматлит, 2008. – 496 с.

2. Вилисов А., Калугин К., Солдаткин В., Перминова Е. Белые светодиоды // Полупроводниковая светотехника. – 2012. – Т. 4, № 18. – С. 14–17. – URL: https://www.led-e.ru/articles/led-cluster/2012_4_14.php (дата обращения: 10.09.2019).

3. Mottier P.. LEDs for Lighting Applications. – 2009, ISTE Ltd.

4. Soldatkin V.S, Tuev V.I., Yulaeva Y.V. et al. Operation Characteristics of LED Filament Bulbs Pages // 14th International Scientific-Technical Conference on Actual Problems of Electronic Instrument Engineering (APEIE–2018). Proceedings. – Vol. 1. – P. 376–379. DOI: 10.1109/APEIE.2018.8545675. – URL: https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85060128122&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&st1=RFMEFI57717X0266&st2=&sid=0d91f28c727b62be98b90143fb2183a4&sot=b&sdt=b&sl=26&s=FUND-ALL%28RFMEFI57717X0266%29&relpos=4&citeCnt=0&searchTerm= (дата обращения: 10.09.2019).

5. Никифоров С.Г. Прогноз срока службы и изменения параметров промышленных светодиодов при наработке с помощью фотометрического метода // Инновации и инвестиции. – 2015. – №1. – С. 152–156. – URL: https://readera.ru/prognoz-sroka-sluzhby-i-izmenenija-parametrov-promyshlennyh-svetodiodov-pri-142163256 (дата обращения: 10.09.2019).

6. Солдаткин В.С., Ряполова Ю.В., Афонин К.Н. и др. Анализ срока службы светодиодных излучающих элементов // Доклады ТУСУР. – 2015. – №3. – С. 55–61. – URL: https://journal.tusur.ru/ru/arhiv/3-2015/analiz-sroka-sluzhby-svetodiodnyh-izluchayuschih-elementov (дата обращения: 10.09.2019).

Саинский Александр Григорьевич
Студент РЭТЭМ РКФ ТУСУРа
Эл. почта: sainskij@gmail.com

Солдаткин Василий Сергеевич
Канд. техн. наук, доцент каф. РЭТЭМ ТУСУРа
Эл. почта: soldatkinvs@main.tusur.ru

А.И. Черепнев
Студент ИШНПТ отд. материаловедения НИ ТПУ
Эл. почта: cherepnev.aleksandr@gmail.com

УДК 621.32:621.314.692

А.А. Барбашов, А.А. Мороз, Е.Г. Незнамова

Влияние режимов освещения на продуктивность фасоли стручковой

Излагаются результаты исследований по выявлению продуктивности стручковой фасоли Phaseolus L, выращенной в условиях светодиодного освещения, был проведен эксперимент по влиянию светодиодного освещения на биометрические показатели растений фасоли (развитие гипокотиля и листовых пластинок, размер и масса плодов), дана оценка состояния фотосинтетического аппарата.

Ключевые слова: светодиодное освещение, растения фасоли, фотосинтез, фотосинтетическая активная радиация, фотосинтетический аппарат растений фасоли.

Одним из перспективных направлений развития полупроводниковой светотехники является садоводческое освещение. Существует большое количество работ, направленных на повышение урожайности, повышения количества витамин в растении, увеличения биомассы растения и т.д. Данные исследования актуальны не только для садоводов, выращивающих рассаду, но и для покорения космоса. Так, при длительном нахождении на орбитальной станции космонавтам необходимо получать витамины, и в настоящее время некоторые культуры растений уже выращиваются на МКС. Работы по изучению влияния света на культурные растения являются актуальными, так как имеют значение не только для теоретической науки, но и для растениеводства в бытовом и промышленном масштабе.

Целью работы является изучение продуктивности фасоли стручковой, выращенной в условиях искусственного освещения.

Влияние освещения на растения

Свет напрямую влияет на фотосинтез растений. Излучение визуально фиолетового цвета (380–430) нм. Переизбыток фиолетового излучения может быть опасен для листвы, но малые дозы излучения поглощаются в процессе цветения и созревания плодов и оказывают влияние на цвет и биохимический состав (вкус). Излучение видимого синего цвета (430–450) нм – эта часть оптического спектра хорошо поглощается большинством основных пигментов растения. Она способна повлиять на морфологию растения: размер и форму листьев, и длину стебля. Ряд исследований показывает лучшую эффективность синего цвета на раннем этапе развития растения (вегетативная фаза). Излучение красного цвета (610–720) нм является наиболее эффективным диапазоном с точки зрения количества фотонов, поглощаемых растением в процессе на всех этапах развития. Намеренно были пропущены излучения жёлтого, зелёного и оранжевого цвета, диапазоны длин волн этих излучений не считаются оптимальными, так как часть зелёного спектра отражается растениями и играет роль поддержки листьев, находящихся в тени, из-за высокой проникающей способности. Оранжевая часть видимого спектра пригодна для выращивания растений, но имеет значительно меньшую пользу. Инфракрасное излучение с длиной волны свыше 1000 нм конвертируется в тепло. Если растение данным спектром не облучается, то необходимо поддерживать комфортную температуру с помощью системы отопления [1].

В работах К. Инада и К. МакКри [2, 3] приведены эффективные спектры излучения для роста растений (рис. 1).

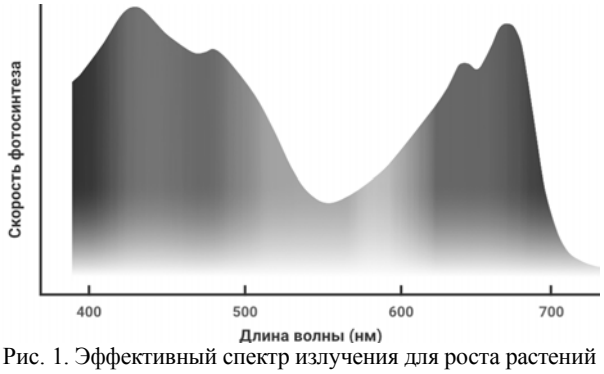


Рис. 1. Эффективный спектр излучения для роста растений

Объекты исследования

В качестве объекта исследования была выбрана фасоль спаржевая Phaseolus L. сорта «Сладкая створка». Фасоль – однолетнее травянистое растение, вид растений из рода Фасоль семейства Бобовые (Fabaceae). Данный сорт скороспелый, кустовой, высокоурожайный. Растение 40 см высотой. Стебель фасоли – прямой (полукустарник). Окраска темно-зеленая. Корневая система стержневая, способная уходить в почву на глубину более 1 м. Благодаря живущим на корнях азотфиксирующим бактериям, фасоль способна накапливать и аккумулировать в почве азот, тем самым повышая плодородие почвы. Листья крупные тройчатые с широкой листовой пластинкой. Цветки белого цвета до 2 см в диаметре. Фасоль – обоеполое самоопыляющееся растение. Однако перекрестное опыление насекомыми также возможно. Плод – бобы золотисто-желтого цвета, сочные, длиной до 17 см. Пергаментный слой и волокно в бобах отсутствуют. Семена белые от 5 до 15 мм длины, эллиптические.

Методика эксперимента

Исследование по изучению влияния светодиодного освещения и определению продуктивности растений спаржевой фасоли Phaseolus L. сорта «Сладкая створка» проводилось с 23.03 по 21.05.19 в лаборатории при ТУСУРе.

Для эксперимента использовались светодиодные светильники красного-синего (тип № 1) и белого цвета свечения (тип № 2).

Группы растений фасоли № 1–3 были высажены в емкости и пронумерованы. Первая группа растений была помещена под светодиодный светильник типа № 1, вторая – под светодиодный светильник типа № 2, третья группа была выставлена под естественное освещение. В качестве основных биометрических показателей для данного исследования были выбраны: высота стебля, количество листьев и плодов, биомасса растений, вегетативных и генеративных органов.

Температура воздуха в помещении находилась в пределах (24–26) °С. Относительная влажность воздуха варьировала от 60 до 75%. Полный цикл выращивания растений от всходов до уборки урожая составил 59 суток, что соответствует заявленному сроку производителем семян.

Измерения светотехнических характеристик проведены с помощью спектроколориметра «ТКА-ВД»/02 № 44179-10 в Госреестре средств измерений РФ, ТУ 4437-007-16796024-2009.

Состояния фотосинтетического аппарата растений спаржевой фасоли проведены с помощью флуориметра «Junior-PAM».

Светотехнические характеристики светодиодных светильников

Результаты определения фотосинтетически активной радиации (ФАР) получены расчётно-экспериментальным методом для естественного освещения в тени в полдень и приведены в табл. 1, для светодиодного светильника со светодиодами красного и синего цвета свечения – в табл. 2, и для светодиодного светильника белого цвета – в табл. 3.

Таблица 1

Значения ФАР для естественного освещения в тени в полдень

Зона оптического спектра		*Ee*, Вт/м^2	PPFD (ФАР)
Ee	390–760 нм	20,38	мкмоль/с·м^2
Ee син	400–500 нм	7,06	26,8
Ee зел	500–600 нм	6,10	28,0
Ee кр	600–700 нм	4,66	25,4
Ee (PAR)	400–700 нм	17,82	80,2

Таблица 2

Значения ФАР для светодиодного светильника со светодиодами красного и синего цвета свечения типа № 1

Зона оптического спектра		*Ee*, Вт/м^2	PPFD (ФАР)
Ee	390–760 нм	13,33	мкмоль/с·м^2
Ee син	400–500 нм	3,03	11,6
Ee зел	500–600 нм	0,95	4,4
Ee кр	600–700 нм	7,84	43,2
Ee (PAR)	400–700 нм	11,82	59,2

Таблица 3

Значения ФАР для светодиодного светильника белого цвета свечения типа № 2

Зона оптического спектра		*Ee*, Вт/м^2	*PPFD* (ФАР)
Ee	390–760 нм	14,18	мкмоль/с·м^2
Ee син	400–500 нм	4,99	18,5
Ee зел	500–600 нм	6,40	29,6
Ee кр	600–700 нм	2,63	14,0
Ee (PAR)	400–700 нм	14,02	62,1

Результаты измерений оптических спектров видимого диапазона естественного освещения в тени в полдень, светодиодного светильника белого цвета свечения и светодиодного светильника со светодиодами красного и синего цвета свечения приведены на рис. 2.

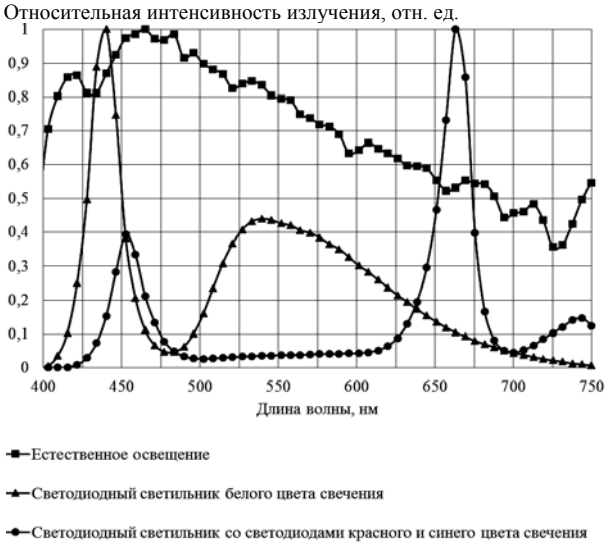


Рис. 2. Оптические спектры естественного освещения в тени в полдень, светодиодного светильника белого цвета свечения и светодиодного светильника со светодиодами красного и синего цвета свечения

Оценка состояния фотосинтетического аппарата растений фасоли

Главным параметром оценки состояния фотосинтетического аппарата растений является фотохимический квантовый выход (*Fv/Fm*). Этот показатель определяется как соотношение количества квантов, используемых в разделении зарядов, к общему количеству квантов, поглощенных светособирающими комплексами растения.

Оценку эффективности функционирования фотосинтетического аппарата растений проводят путём измерения максимального фотохимического квантового выхода (*Y*(II)), который определяет эффективность использования светового потока молекулами хлорофилла растением.

По данным измерений он оказался выше у растений, выращенных под спектром № 2 (*Y*(II) = = 0,607±0,006 – у растений под спектром №1, *Y*(II) = 0,619±0,40 – у растений, выращенных под спектром № 2).

Исследование продуктивности стручковой фасоли

В результате эксперимента по выращиванию растений фасоли более высокие биометрические показатели были зафиксированы у группы растений под светодиодным светильником типа № 2. Данный тип освещения способствовал более эффективному накоплению биомассы по сравнению с группами, выращенными под светодиодным светильником типа № 1 и при естественном освещении (табл. 4).

Таблица 4

Показатели продуктивности фасоли, выращенной с использованием различных видов освещения

Наименование параметра			Светодиодный светильник типа № 1	Светодиодный светильник типа № 2	Естественное освещение
Биомасса растений, г	Стебли и листья	Сырая	46,6	65,4	47,3
		Сухая	12,2	13,6	12
	Стручки	Сырая	52,9	66,2	35,4
		Сухая	21,1	21,7	10,2
Число, шт	Стручки		30	35	21
	Количество семян в стрючке		78	116	57

Выводы

В результате проведённых исследований по выявлению продуктивности стручковой фасоли Phaseolus L., выращенной в условиях облучения источниками света различного спектрального состава, выяснилось, что оптимальным из изучаемых спектров стал спектр № 2, что отразилось в относительно высоких показателях биомассы генеративных и вегетативных органов растений этой группы и эффективности использования светового потока растением (*Y*(II)).

Литература

1. Neznamova E.G., Soldatkin V.S., Timoshenko P.V., Tuev V.I., Khomaykov A.J. The use of energy-efficient sources while growing a small quantity of the cucumber under the artificial lighting agricultural ecosystem // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. – 2019. – No. 224. – P. 012048.

2. Inada K. Action spectra for photosynthesis inhigher plants // Plant Cell Physiol. – 1976. – No. 17. – P. 355–365.

3. McCree K.J. The action spectrum, absorbance and quantum yield of photosynthesis in crop plants // Agr. Meteorol. – 1972. – No. 9. – P. 191–216.

4. Мороз А.А., Тимошенко П.В. Исследования влияния спектров света на рост и развитие растений // Матер. междунар. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых «Научная сессия ТУСУР–2018». – Ч. 4. – С. 178–180.

5. Мороз А.А. Исследование оптимального спектрального состава освещения на рост и развитие растений шпината // Матер. междунар. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых «Научная сессия ТУСУР–2018». – Ч. 4. – С. 44–46.

Барбашов Алексей Алексеевич
Студент каф. РЭТЭМ РКФ ТУСУРа
Эл. почта: barbashovaleksej1@gmail.com

Мороз Анастасия Андреевна
Студентка каф. РЭТЭМ РКФ ТУСУРа
Эл. почта: moroz2010_95@mail.ru

Незнамова Елена Григорьевна
Канд. биол. наук, доцент каф. РЭТЭМ РКФ ТУСУРа
Эл. почта: univerh66@mail.ru

УДК 628.166.085

Т.С. Михальченко, А.О. Шардина, Л.Ш. Юлдашова, В.С. Солдаткин

Влияние ультрафиолетового излучения на микроорганизмы в водной среде

Известно, что получение чистой воды, пригодной для питья, является важнейшей задачей науки и техники. Существует ряд современных очистных установок, но есть востребованность населением на мобильные портативные очистители воды. За счёт высокой энергии фотонов и коротких длин волн ультрафиолетовое (УФ) излучение поглощается и рассеивается в водной среде, что приводит к нарушению химических связей на молекулярном и клеточном уровне бактерий. В системах водоочистки применяются ультрафиолетовые газоразрядные лампы. Современный уровень развития полупроводниковой техники позволяет изготавливать полупроводниковые источники излучения с узким оптическим спектром и высокой эффективностью. За счёт применения УФ-диодов можно изготавливать миниатюрные устройства очистки воды от микроорганизмов, если подобрать длину волны и мощность оптического излучения. Целью работы является исследование влияния УФ-излучения на микроорганизмы в водной среде. В результате работы установлено, что облучение УФ-диодом с максимальной длиной волны излучения 395 нм и мощностью излучения 360 мВт не приводит к статистически значимому результату по обеззараживанию воды. В дальнейшем следует провести аналогичные исследования на меньших значениях длин волн.

Ключевые слова: обеззараживание воды, ультрафиолетовый диод, микроорганизмы.

Чистая вода необходима для поддержания человеческой жизни и имеет первостепенное значение для здоровья человека. От дефицита воды страдает более 40% мирового населения, и эта цифра постоянно растет. Проблемам снабжения населения чистой водой посвящена Резолюция Генеральной Ассамблеи ООН A/RES/72/178 «Права человека на безопасную питьевую воду и санитарию» [1]. В Российской Федерации в ч. II «План фундаментальных исследований Российской академии наук на период 2011–2025 гг.» в разд. 7 «Науки о Земле» одной из важнейших научных проблем, которую намечается решить в прогнозируемый период, является динамика подземных и поверхностных вод и ледников, состояние озер; научные основы изучения и прогноза водных ресурсов, качества вод, водообеспеченности страны [2].

С 20-х годов прошлого века ультрафиолетовая (УФ) очистка применяется в различных областях для обеззараживания с помощью газоразрядных ламп, например кварцевание помещений. УФ-излучение принято делить на три группы по диапазонам длин волн: ближний (длинноволновый) УФ-А 400–315 нм, средний (средневолновый) УФ-В 0,315–280 нм и дальний (коротковолновый) УФ-С 280–200 нм [3].

Целью работы является исследование влияния УФ-излучения на микроорганизмы в водной среде.

Для достижения поставленной цели следует решить следующие задачи:

– разработать методику исследований;

– подготовить оборудование и оснастку для проведения исследований (микроскоп, УФ-диод с источником питания со стабилизацией по току, химическую посуду, материалы и реагенты) и пробы воды;

– провести исследования.

Аналитический обзор

УФ-излучение с длинами волн менее 315 нм приводит к фотохимическим реакциям в структуре молекул ДНК и РНК, следствием чего является их необратимое повреждение. Именно по этой причине для очистки воды используются источники излучения, работающие в диапазоне длин волн 315–205 нм, данный диапазон считается наиболее эффективным для обеззараживания воды [4].

Развитие современной полупроводниковой техники позволяет применять излучающие УФ-диоды для обеззараживания воды. Они имеют конкурентные преимущества по сравнению с газоразрядными лампами, такие как миниатюрность, узкий спектр излучения, низкое энергопотребление, длительный срок службы и устойчивость к механическим воздействиям [5, 6]. В настоящее время ряд учёных в России и за рубежом проводят исследования по

обеззараживанию воды с помощью полупроводниковых источников излучения [7, 9].

В работе [10] приводятся результаты исследований на индикаторных микроорганизмах (Escherichia coli), репрезентативных бактерий бактериофаг и репрезентативного вируса MS2. Исследования проводились последовательным воздействием УФ-диодами с длиной волны 365 нм и облучённостью 17 Дж/см^2 (УФ-А) и УФ-диодами с длиной волны 265 нм и облучённостью 52 Дж/см^2 (УФ-С). Детальное исследование механизмов обеззараживания показало, что предварительная обработка УФ-А устраняла фотореактивацию E.coli но не влияла на восстановление в темноте за счёт того, что радикалы OH генерировались внутри клеток. Воздействие УФ-С приводит к нарушению функции клеток, как самовосстановление ДНК. В работе [11] приводятся результаты сравнения воздействия УФ-диодов в импульсном и постоянном режимах работы на E. coli, MS-2 и P. aeruginosa. Установлено, что разница между импульсным и постоянным режимами воздействия на образцы не приводит к статистически значимой разнице в эффективности обеззараживания воды. Таким образом, при применении УФ-диодов в импульсном режиме можно повысить их срок службы за счёт снижения тепловой нагрузки при работе в постоянном режиме. В работе [12] приводятся результаты исследований УФ-диодов с длинами волн (265, 280 и 300) нм на вирусы Legionella pneumophila, Pseudomonas aeruginosa, Vibrio parahaemolyticus и feline calicivirus. Установлено, что УФ-диоды с длинами волн 265 и 280 нм наиболее близки к друг другу по скорости обеззараживания воды, а УФ-диод 300 нм существенно отстаёт в Эскорости.

В работе [13] приводятся зависимости свойств обеззараживания воды от толщины и скорости её потока для газоразрядных ламп с длинами волн 185 и 254 нм.

Методика исследований

Объект исследований – пробы воды из устья р. Ушайки, г. Томск.

Цель исследований – влияние УФ-излучения на микроорганизмы в пробах воды.

Условия предъявления объекта исследований:

– на исследования предъявляются три пробы воды;

– порядок отбора объектов исследований: пробы воды берутся в трёх точках в радиусе метра от места отбора проб в герметичные стерильные стеклянные ёмкости, транспортируются в лабораторию при температуре +15±5 °С, исследования проводятся в течение 2 ч с момента взятия проб.

Место проведения – лаборатория экологического мониторинга каф. РЭТЭМ ТУСУРа.

Средства проведения измерений: секундомер, микроскоп, штангенциркуль, шприц, УФ-диод с источником питания со стабилизацией по току.

Доля от каждой из трёх проб воды была перемешана в бюксе с эритрозином (динатриевая соль дигидрокситетраиодкарбоксифенилксантена с химической формулой $C_2OH_6I_4Na_2O_5$ входит в кодекс алиментариус под названием E127) для окраски микроорганизмов. Каждая из трёх проб с помощью шприца нанесена на предметные стекла – площадь пробы 1 см^2.

С помощью микроскопа Levenhuk (диапазон увеличений от 40 до 2000 крат, фотография микроскопа приведена на рис. 1) при увеличении 400 крат посчитано количество микроорганизмов: бацилл 20±3, трематод 100±10. Фотография образца пробы воды под увеличением в 400 крат приведена на рис. 2.



Рис. 1. Фотография микроскопа Levenhuk

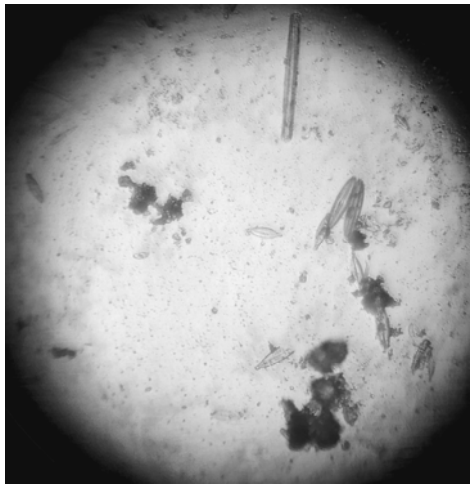


Рис. 2. Фотография образца пробы воды под увеличением в 400 крат

Для проведения исследований выбран УФ-диод с максимальной длиной волны излучения 395 нм, мощностью излучения 360 мВт при значении прямого тока 350 мА и прямом напряжении 3,1 В (рис. 3).



Рис. 3. Фотография УФ-диода

УФ-диод был припаян на алюминиевый теплоотвод для термостабилизации параметров, в качест-

ве источника питания со стабилизацией по току выбран -измеритель Keithley 2410.

Результаты исследований

Исследования проводились на трёх образцах проб воды, нанесённых на три предметных стекла равной площадью 1 см^2. Каждый из образцов облучался УФ-диодом с максимальной длиной волны излучения 395 нм, мощностью излучения 360 мВт.

С шагом 15 мин осуществлялся контроль под микроскопом количества микроорганизмов. Время выдержки каждого образца под ультрафиолетовым излучением диода составило 1 ч.

Статистически значимой разницы до облучения, в процессе и после облучения УФ-диодом с максимальной длиной волны излучения 395 нм, мощностью излучения 360 мВт трёх образцов проб воды зафиксировано не было.

Выводы

Установлено, что облучение УФ-диодом с максимальной длиной волны излучения 395 нм и мощностью излучения 360 мВт не приводит к статистически значимому результату по обеззараживанию воды. В дальнейшем следует провести аналогичные исследования на меньших значениях длин волн.

Экспериментальные результаты получены с использованием оборудования УНУ «2D-плоттер» ЦКП «Импульс» при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ по соглашению 075-15-2019-1644, идентификатор проекта RFMEFI62119X0029.

Литература

1. Организация Объединенных Наций. Официальный сайт. – URL: https://www.un.org/ru/ga/72/docs/72res2.shtml (дата обращения: 02.09.2019).

2. Российская академия наук. Официальный сайт. – URL: http://www.ras.ru/scientificactivity/plan2025.aspx (дата обращения: 02.09.2019).

3. ГОСТ Р 8.590–2001. Государственная система обеспечения единства измерений (ГСИ). Средства измерений характеристик ультрафиолетового излучения в охране труда. Методика поверки. – URL: http://docs.cntd.ru/document/1200028910 (дата обращения: 02.09.2019).

4. Рябчиков Б.Е. Современные методы подготовки воды для промышленного и бытового использования. Обработка воды ультрафиолетом. – URL: http://www.medianafilter.ru/water_filter_uf.html (дата обращения: 02.09.2019).

5. Итоги круглого стола «Ультрафиолетовые источники излучения – новинки, тенденции, перспективы» // Полупроводниковая светотехника. – 2017. – URL: https://www.led-e.ru/events/LF_18_04_17.php (дата обращения: 02.09.2019).

6. Keshavarzfathy M., Taghipour F. Computational modeling of ultraviolet light-emitting diode (UV-LED) reactor for water treatment // Water Research. – 2019. – Vol. 166, No. 1. – P. 115022

7. Васильев А.И., Кудрявцев Н.Н., Собур Д.А., Соколов Д.В., Костюченко С.В. Технологии УФ-обеззараживания для обработки воды, воздуха и поверхностей // Светотехника. – 2017. – № 5. – С. 6–11.

8. Sholtes K., Linden K.G. Pulsed and continuous light UV LED: microbial inac-tivation, electrical, and time efficiency // Water Research. – 2019. – Vol. 165, No. 15. – P. 114965.

9. Jeco B.M.F.Y., Lar-roder A.C., Oguma K. Techno-social feasibility analysis of solar-powered UV-LED water treatment system in a remote island of Guimaras, Philippines // Journal of Pho-tonics for Energy. – 2019. – Vol. 9, No. 4. – P. 043105.

10. Song K.a.b., Mohseni M.a., Taghipour F. Mechanisms investigation on bacterial inactivation through combinations of UV wavelengths // Water Research. – 2019. – Vol. 163, No. 15. – P. 114875.

11. Sholtes K., Linden K.G. Pulsed and con-tinuous light UV LED: microbial inactivation, electrical, and time efficiency // Water Research. – 2019. – Vol. 165, No. 15. – P. 114965.

12. Oguma K., Rattanakul S., Masaike M. Inactivation of health-related microorganisms in water using UV light-emitting diodes // Water Science and Technology: Water Supply. – 2019. – Vol. 19, No. 5. – P. 1507–1514.

13. Яловега В. Уф-технологии очистки воды // Предприятия здравоохранению. – 2006. – URL: https://cyberleninka.ru/article/v/uf-tehnologii-ochistki-vody-i-chast (дата обращения: 02.09.2019).

Михальченко Татьяна Сергеевна
Студентка каф. РЭТЭМ РКФ ТУСУРа
Эл. почта: t.mikhalchenko@bk.ru

Шардина Алена Олеговна
Студентка каф. РЭТЭМ РКФ ТУСУРа
Эл. почта: alenashardina2000@mail.ru

Юлдашова Лола Шухратжоновна
Студентка каф. РЭТЭМ РКФ ТУСУРа
Эл. почта: lola.yuldashova2000@gmail.com

Солдаткин Василий Сергеевич
Канд. техн. наук, доцент каф. РЭТЭМ РКФ ТУСУРа
Эл. почта: soldatkinvs@main.tusur.ru

В.И. Туев, Д.К. Нуриев

Технологии Li-Fi

Дано описание новой технологии передачи данных Li-Fi, позволяющей работать с видимым и инфракрасным излучением, имеющим гораздо более высокую частоту по сравнению с технологией Wi-Fi, добиться более высокой скорости передачи данных за счёт широкой доступной полосы частот в оптическом диапазоне. Приведены достоинства и недостатки оптической системы передачи данных.

Ключевые слова: технология Li-Fi, характеристика технологии, сравнение с Wi-Fi и перспективы развития.

Несколько лет назад телефонные аппараты оснащались инфракрасным портом. Он использовался для обмена данными. Инфракрасный порт (ИК-порт) был медленным и обладал небольшим радиусом действия, поэтому в настоящее время используется в роли пульта для управления телевизором. И вот новая технология, но с радиусом действия по всей аудитории, и скоростями в несколько Гбит/с. Такие возможности предлагает Li-Fi.

Термин Li-Fi (Light Fidelity, по аналогии с Wi-Fi, Wirless Fidelity) появился в 2011 г. Его родоначальником считается немецкий физик Харальд Хаас, который в 2011 г. в качестве роутера использовал светодиодную лампу. В лабораторных условиях он достиг скорости передачи в 224 Гбит/с. Такая скорость позволяет, например, скачать за одну секунду 18 фильмов по 1,5 Гбит или до 50 000 фотографий! Идея стала возможной благодаря технологии VLC (Visible Light Communication), которая позволяет источнику света не только выполнять функцию освещения, но и передавать информацию. Отличие ее от ИК-порта заключается в использовании не инфракрасного, а видимого света. Если в ИК-связи используются волны длиной 800–2000 нм, то в Li-Fi – 400–800 нм, заметные глазу. Для сравнения, длина радиоволны Wi-Fi – 6–12 см, т.е. в тысячи раз больше. Чем короче волна – тем выше частота, а чем выше частота – тем больше данных можно передать за единицу времени. Система Li-Fi теоретически сможет обеспечивать скорость до десятков и сотен Гбит/с (против чуть более 1 Гбит/с у самого быстрого Wi-Fi).

Транзит данных реализуется светодиодами, наносекундное мерцание которых незаметно для человека. С одной стороны, это позволяет использовать для передачи информации обычные светодиодные лампы, а с другой – добиться сверхвысокой скорости передачи данных за счёт широкой доступной полосы частот в оптическом диапазоне. Кроме того, оптические каналы связи безопасны для здоровья. С их помощью можно реализовать Li-Fi и предоставить абонентам гарантированный канал передачи данных [1].

Технология Li-Fi служит хорошим дополнением к Wi-Fi, так как позволяет обеспечивать доступ в Интернет в помещениях с большим количеством людей – торговых центрах, конференц-залах и конгресс-холлах. В этом случае каждый светодиодный светильник превращается в точку интернет-доступа, и может быть реализована концепция микросот с предоставлением пользователям гарантированного высокоскоростного Интернета. Кроме того, данную технологию можно использовать в местах, где радиочастотный сигнал является нежелательным – например, в самолётах, шахтах или операционных. Ещё одним преимуществом Li-Fi считается тот факт, что в настоящий момент светодиодное освещение широко распространено в городской инфраструктуре, а значит, его можно сравнительно дёшево перестроить для беспроводной передачи данных [2].

Аналитическая часть

Работа распространенных в настоящее время беспроводных систем передачи данных, таких как 3G, LTE, Wi-Fi и т.д., основана на использовании радиочастотных каналов. Данный механизм имеет несколько существенных недостатков. В частности, ограничения полосы частот, взаимное влияние нескольких источников сигнала в одном частотном диапазоне, зависимость скорости передачи данных от числа пользователей и пр. У подобных технологий есть менее распространенная в настоящее время, но перспективная альтернатива Li-Fi, в основу которой положена энергия света.

Чем выше частота применения светодиодных светильников, тем большие возможности открываются для распространения световой передачи данных. Любой светодиод может одновременно освещать помещение и транслировать массивы бинарных данных. Согласно исследованиям Grand View Research, к 2024 г. рынок световой технологии передачи данных вырастет до 100 млрд долл. [3].

Доминирующей компанией, занимающейся исследованием, развитием и продвижением Li-Fi, считается PureLiF, основанная Харальдом Хаасом [4]. Однако интерес к технологии проявляют и другие коммерческие структуры. Например, испытания Li-Fi проводили Beamcaster, достигнув 1,25 Гбит/с, и компания Sisoft, которая передала данные со скоростью в 10 Гбит/с [5].

Осенью 2016 г. появилась информация, что специализирующаяся на светодиодном освещении компания Lucibel, с которой сотрудничает PureLiF, готова реализовать проект по оснащению первого в мире офиса двухсторонней передачей данных по технологии Li-Fi. Внедрять решение планируется в Париже.

Другая французская компания Oledcomm, согласно полученному тендеру, должна оснастить свыше 60 станций парижского метрополитена – это 250 тыс. светодиодных источников света. В данном проекте технология Li-Fi будет использовать одностороннюю связь. Например, передавать информацию о расположении объектов.

Также в коде операционной системы iOS компании Apple найдена информация о тестировании передачи данных с помощью светового излучения Li-Fi.

В нашей стране проект Li-Fi развивают Астраханский государственный технический университет и группа молодых аспирантов факультета «Фотоника» Санкт-Петербургского национального исследовательского университета информационных технологий, механики и оптики (Университет ИТМО) [6].

Проектом Li-Fi они начали заниматься в 2016 г., когда к ним обратилась московская компания «Связь Инжиниринг» с просьбой разработать для них прототип системы Li-Fi. Для реализации проекта был создан консорциум, в который входили, с одной стороны, компания «Связь Инжиниринг», с другой – исполнители проекта в Санкт-Петербурге, представленные двумя организациями: университетом ИТМО и компанией «02 Световые системы», кото-

рая является участником технопарка ИТМО и занимается производством светодиодных устройств.

К настоящему моменту степень проработки технологии достаточно высокая. Есть не просто макеты, а опытные образцы светодиодных светильников, в которые интегрирована технология Li-Fi, позволяющая использовать свет белых светодиодов не только для освещения, но и для передачи информации, построения каналов связи. На сегодняшний день уже сделано несколько вариантов таких решений. Разработаны опытные образцы и пилотные партии светильников для внутренних помещений [7].

Как работает Li-Fi

На практике в роли передатчика (аналог роутера) выступает светодиодная лампочка, модулирующая свет путем мерцаний и приемника. В качестве первого используется источник видимого белого света, второго – чувствительный фотосенсор, улавливающий незначительные изменения в освещении. Ноутбук, смартфон оснащаются специальным датчиком освещения, способным эти мерцания распознать. Сенсор улавливает их и преобразует в поток двоичной системы счисления. Скорость этих мерцаний столь высока, что человек их не замечает. Полученные мерцания преобразуются обратно в двоичную систему счисления.

Для организации двусторонней связи каждое из устройств оснащается и приемником, и передатчиком. Обратная связь организуется схожим образом: лампа оснащается фотосенсором, а смартфон или ноутбук передает данные посредством столь же скоростных мерцаний подсветки экрана или специального диода. В устройствах без дисплея (роутер, медиацентр, принтер и т.д.) для этих целей может использоваться специальный светодиод на корпусе.

Для организации двусторонней связи каждое из устройств оснащается обоими компонентами. Обратная связь организуется схожим образом: лампа оснащается фотосенсором, а смартфон или компьютер передает данные посредством столь же скоростных мерцаний подсветки экрана или специального диода. В устройствах без дисплея (роутер, медиацентр, принтер и т.д.) для этих целей может использоваться специальный светодиод на корпусе.

Светодиодная матрица имеет свой световой поток, сравнимый со 100-ваттной лампочкой, она светит и одновременно позволяет строить каналы передачи данных с высокими скоростями. Вокруг матрицы производитель может установить любое количество светодиодных матриц, спроектировать светильник любой конфигурации. Один модуль позволяет обеспечить оптимальную скорость передачи данных, а световую конфигурацию можно делать любую.

Система передачи данных устроена таким образом, что каждый светильник представляет собой свою точку доступа, и это гарантированный канал. Локализованность канала передачи данных в отличие от радиоволн, которые распространяются везде, иногда рассматривают как недостаток. Световой канал идёт по прямой линии от источника по направлению света. У каждого светильника есть пятно засветки, вот в этом пятне и распространяется канал передачи данных.

В помещении специфика Li-Fi корректируется тем, что освещение в офисе проектируется так, чтобы между светильниками не было тёмных пятен.

Внутри зданий соответственно никаких проблем не возникает. Канал может быть открытым, что позволяет при переходе от одного светильника к другому не терять информационный поток. Также можно сделать и закрытый канал, это зависит от технических требований. Важно, что эти каналы не радиочастотные, никуда за стены помещения информация, передаваемая по ним, не уйдёт. Вся передаваемая информация остаётся в рамках данного помещения.

Практика применения этой технологии пока не столь широка, но отдельный потенциал касается сбора и передачи информации в условиях промышленного производства. Когда есть цеха, много металла, машин, механизмов, где беспроводные каналы работают с трудом, в силу наличия большого количества помех, использование модулей Li-Fi для сбора и передачи данных между оборудованием, между вагонами, подвижным составом очень востребовано.

Необходимое оборудование

Для обеспечения работы Li-Fi необходимо следующее аппаратное обеспечение:

– светодиодная система освещения;

– маршрутизатор, установленный вместе с системой освещения;

– приемник, который оснащен декодером с целью расшифровки светового сигнала.

Технология Li-Fi устроена так, что в качестве беспроводных маршрутизаторов могут использоваться электрические светодиодные лампочки.

Основными компонентами системы Li-Fi являются:

– яркий светодиод, который является источником передаваемых данных;

– кремниевый фотодиод (фотодетектор), который может реагировать на видимый свет, он является приемником передаваемых данных.

Среди последних разработок можно назвать смартфон от компании Oledcomm, который работает под управлением Android. У смартфона имеется одна важная модификация: вместо фронтальной камеры у него имеется Li-Fi сенсор. Указанный сенсор получает команды от светодиодных ламп, которые располагаются поблизости от смартфона, что позволяет просматривать видеоролики или изображения на устройстве.

К тому же был продемонстрирован прототип компактного внешнего Li-Fi приемника, он подключается к смартфону посредством 3,5-миллиметрового разъема. Такой приемник позволяет получать данные Li-Fi на устройствах, которые не оборудованы модулем. В скором времени Oledcomm планирует

внедрить свою разработку в планшеты и смартфоны, что позволит широко распространить технологию Li-Fi.

Сложности реализации технологии Li-Fi

Перспективы Li-Fi выглядят привлекающе, но на практике все не так просто. Некоторые ограничения способны перечеркнуть достоинства оптического соединения посредством этой технологии.

Одной из сложностей реализации Li-Fi является потребность в разделении световых потоков. Устройства должны различать сигнал от передатчика и свое собственное излучение, отраженное от стен и иных объектов. Эта проблема решаема (она ведь свойственна и радиосигналу), но она мешает добиться максимальных теоретических скоростей (нескольких Тбит/с).

Более серьезной является проблема стороннего света. Светодиодные лампы в помещении обычно дают освещенность 50–500 лк, тогда как пасмурным днем на улице – 1000 лк, а в солнечный полдень – до 100000 лк. Проникая через окна, солнечный свет способен напрочь заглушить сигнал Li-Fi в помещении. Бороться с этим можно, используя жалюзи на окнах и постоянное искусственное освещение, но днем на улице организовать связь Li-Fi на сегодняшний день пока трудно реализуемо.

Наконец, сложности реализации Li-Fi связаны с мобильностью современной электроники. Для поддержания соединения устройства должны находиться в постоянной видимости, а смартфон в руках не всегда «смотрит» экраном на светильник на потолке. Следовательно, для реализации связи нужно переосмысливать концепцию искусственного освещения, переходя от нескольких люстр и светильников на точечные LED-лампы, встраиваемые в потолки и стены.

Плюсы Li-Fi позволяют сделать вывод, что технология продолжит развиваться и уже через несколько лет устройства с ее поддержкой поступят на рынок. Однако заменой Wi-Fi ей стать однозначно не суждено. Мобильные устройства продолжат активно использовать радиосигнал.

Выводы

Таким образом, технология Li-Fi по сравнению с Wi-Fi имеет следующие особенности:

1. Использует волны видимого света вместо радиоволн.
2. Имеет более широкую полосу пропускания.
3. Имеет большую скорость передачи данных.
4. Более инфобезопасна.
5. Имеет меньшую зону покрытия.
6. Способствует оптимизации энергозатрат, объединяя систему освещения и связи.
7. Li-Fi-устройства не создают друг другу помехи в сети.

Литература

1. Li-Fi: как светодиодная лампочка превращается в модем. – URL: http://habrahabr.ru/post/198874/ (дата обращения: 16.07.2016).

2. PureLiFi. – URL: http://purelifi.com.

3. Bt (British Telecommunications) is testing LiFi. – URL: http://purelifi.com/bt-british-telecommunications-is-testing-lifi/

4. Rani J., Chauhan P., Tripathi R. Li-Fi (Light Fidelity)-The future technology. In Wireless communication // International Journal of Applied Engineering Research. – 2012. – Vol. 7, No. 11.

5. Gilliard R. Luxim Corporation «The lifi® lamp high efficiency high brightness light emitting plasma with long life and excellent color quality».

6. Gilliard R., DeVincentis M., Hafidi A., O'Hare D., Hollingsworth G. Operation of the LiFi Light Emitting Plasma in Resonant Cavity.

7. Visilink. Visible Light Communication Technology for Near-Ubiquitous Networking // White Paper. – January 2012.

Туев Василий Иванович
Д-р техн. наук, доцент, зав. каф. РЭТЭМ ТУСУРа
Эл. почта: tvi_retem@main.tusur.ru

Нуриев Дамир Камилович
Инженер каф. РЭТЭМ ТУСУРа
Эл. почта: jalkin@yandex.ru

Секция 12

ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ СОВМЕСТИМОСТЬ

Председатель секции – ***Газизов Тальгат Рашитович,*** *зав. каф. ТУ, д-р техн. наук*

УДК 621.396.41

С.А. Доброславский, Е.С. Жечев, В.П. Костелецкий, А.М. Заболоцкий

Помехоподавляющий фильтр на элементах с сосредоточенными параметрами для силовой шины электропитания космических аппаратов

Рассматривается защита от синфазных и дифференциальных помех радиоэлектронной аппаратуры за счет применения фильтра на элементах с сосредоточенными параметрами. Разработана принципиальная схема фильтра для применения в цепях питания космического аппарата. Представлены результаты схемотехнического моделирования, эксперимента и их сравнения. Результаты будут использованы при дальнейшей разработке помехозащитных устройств для шины питания космического аппарата.

Ключевые слова: электромагнитная помеха, синфазная помеха, дифференциальная помеха, фильтр, помехоподавляющий фильтр.

Основным средством ослабления кондуктивных помех, которые создаются в цепях питания и коммутации токов аппаратуры, является фильтрация. Предназначенные для этой цели помехоподавляющие устройства, или фильтры, позволяют снижать кондуктивные помехи как от внешних, так и от внутренних источников. По своему назначению помехоподавляющие фильтры – это широкополосные фильтры нижних частот (ФНЧ) [1]. Актуальной является проблема обеспечения помехозащищенности бортового оборудования космических аппаратов (КА) в силу её специфики и востребованности [2]. В КА для снижения электромагнитных помех в контурах тока между источником и потребителем применяют силовые шины электропитания [3]. В соответствии с согласованными с АО «Информационные спутниковые системы» требованиями, дополнительно к разрабатываемому прототипу силовой шины электропитания возникла необходимость разработки фильтрующего устройства для подавления синфазных и дифференциальных кондуктивных помех с использованием компонентов с сосредоточенными параметрами [4]. Цель данной работы – разработка помехоподавляющего фильтра на элементах с сосредоточенными параметрами для силовой шины электропитания КА.

Подходы, схема и конструкция

В качестве основы разрабатываемого устройства выбран фильтр нижних частот на элементах с сосредоточенными параметрами, обладающий характеристикой Баттерворта третьего порядка. Данный класс фильтрующих устройств обладает максимально плоской амплитудно-частотной характеристикой (АЧХ) в полосе пропускания. Крутизна характеристики для подавления синфазной и дифференциальной составляющих ЭМП удовлетворяет техническим требованиям и составляет 60 дБ/дек. В отличие от помехозащитных устройств [5–7] в разрабатываемом фильтре отсутствуют активные компоненты. Как следствие, устройство полностью соответствует ГОСТ Р 56529–2015 [8] и обладает необходимой надежностью. Для проверки целостности схемы и проведения анализа во временной и частотной областях использовано SPICE-моделирование. Оно позволяет обеспечить технические характеристики разрабатываемого устройства с минимальными временными и экономическими затратами. В его основе лежит анализ цепи методом узловых потенциалов, необходимый для построения уравнений схемы.

В основе сложных SPICE-моделей лежат пассивные R, L, C компоненты, а также источники тока и напряжения [9]. В состав помехозащитного фильтра (рис. 1) входит синфазный дроссель, обладающий наибольшей индуктивностью для синфазной помехи, 2 несвязанных дросселя, необходимых для ослабления дифференциальной помехи, а также 4 керамических конденсатора. С помощью 2 демпфирующих резисторов ослабляются высокочастотные выбросы и уменьшаются нежелательные реактивные токи. Но в данном исследовании резисторы закорочены.

Выбранная схема обеспечивает минимальное влияние на работу защищаемой цепи при отсутствии ЭМП, обладает необходимой реакцией на высокую скорость нарастания тока и напряжения, а также достаточную нагрузочную способность по току. Схемная математическая модель разработана на ос-

нове выражений из [9]. В основе помехоподавляющего фильтра (см. рис. 1) лежат две функциональные схемные модели для подавления дифференциальной и синфазной составляющих ЭМП (рис. 2).

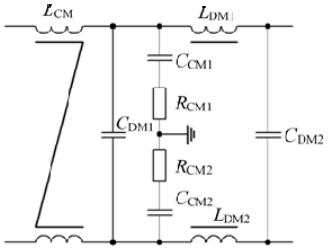
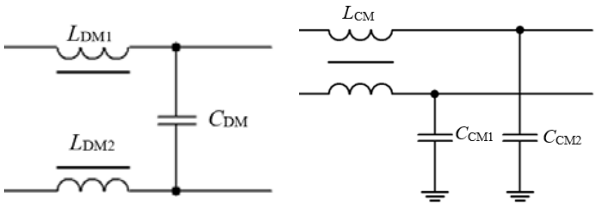


Рис. 1. Принципиальная схема разрабатываемого фильтра



а *б*

Рис. 2. Схемы моделей для подавления дифференциальной (*а*) и синфазной (*б*) составляющих ЭМП

Для подавления дифференциальной составляющей помехи используются 2 последовательно включенных дросселя L_{DM1}, L_{DM2} и 2 параллельно включенных конденсатора C_{DM1}, C_{DM2}. Выражения для расчета номиналов компонентов [9]

$$C_{DM} = \frac{1}{2\pi f_{DM} R_f}, \quad L_{DM} = \frac{R_f}{2\pi f_{DM}}, \qquad (1)$$

где C_{DM} – емкость дифференциального конденсатора, L_{DM} – индуктивность дифференциального дросселя, R_f – выходной импеданс фильтра и f_{DM} – частота среза фильтра для дифференциальной составляющей ЭМП (по уровню –3 дБ). Для подавления синфазной составляющей ЭМП использованы синфазный дроссель L_{CM} и два конденсатора C_{CM1}, C_{CM2}, шунтирующих каждую линию на опорный проводник. Для расчета значений компонентов использованы выражения [12]

$$f_{CM} = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_{CM} C_{CM}}}, \; C_{CM} = \frac{1}{(2\pi)^2 f_{CM}^2 L_{CM}}, \qquad (2)$$

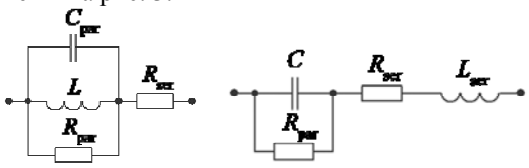
где C_{CM} – емкость синфазного конденсатора, L_{CM} – индуктивность синфазного дросселя, f_{CM} – частота среза фильтра для синфазной составляющей ЭМП (по уровню –3 дБ). Для достижения требуемой индуктивности дросселей определены количество витков и материал сердечника, определяющий рабочие температуру, частоту и высокочастотные потери. Для вычисления необходимого количества витков провода заданного сечения использовано следующее выражение [13]:

$$L = 0{,}0002 \mu h N^2 \ln\frac{D_1}{D_2}, \qquad (3)$$

где h – высота ферритового кольца, D_1 и D_2 – внешний и внутренний диаметры кольца, N – количество витков, μ – магнитная проницаемость сердечника.

Результаты и обсуждение

Расчет номиналов компонентов фильтра ЭМП производился на основе следующих технических характеристик: f_{DM} – 46 кГц, R_f – 50 Ом. Моделирование проводилось с учетом паразитных параметров компонентов, эквивалентные схемы которых изображены на рис. 3.



а *б*

Рис. 3. Эквивалентные схемы дросселя (*а*) и конденсатора (*б*)

Для реализации дифференциального дросселя использованы провод марки ПЭТВ2 диаметром 0,28 мм и ферритовый сердечник марки МП140-6 с параметрами: D_1 = 13 мм, D_2 = 7 мм и h = 5 мм. На основе выполненных расчетов получено количество витков 110.

В качестве конденсатора C_{DM} использован керамический конденсатор для поверхностного монтажа GRM43QR72J683KW01L, частотная зависимость емкости которого, измеренная LCR-метром HM8118, представлена на рис. 4.

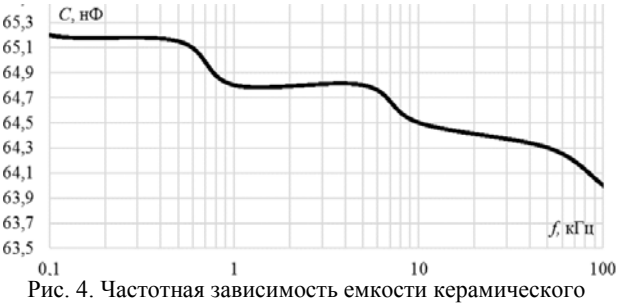


Рис. 4. Частотная зависимость емкости керамического конденсатора GRM43QR72J683KW01L

Аналогично условиям выбора параметров дифференциального дросселя определены материал и количество витков синфазного дросселя. Для увеличения нагрузочной способности по току использована бифилярная намотка. Количество витков провода необходимого сечения рассчитано по формуле (3). Для реализации синфазного дросселя использовался ферритовый сердечник марки M250HMC7-58 с параметрами: D_1 = 7 мм, D_2 = 4 мм, h = 2 мм. На основе расчетов получено количество витков 15, намотанных сдвоенным проводом марки ПЭТВ2 диаметром 0,2 мм. В результате получено, что индуктивность для каждой из обмоток синфазного дросселя равна 126 мкГн.

Далее в качестве конденсаторов C_{CM1} и C_{CM2} использованы керамические конденсаторы поверхностного монтажа 2225GC333KAT1A. Частотная зависимость емкости конденсаторов представлена на рис. 5.

Принципиальные схемы для проведения схемотехнического моделирования в синфазном и дифференциальном режимах представлены на рис. 6.

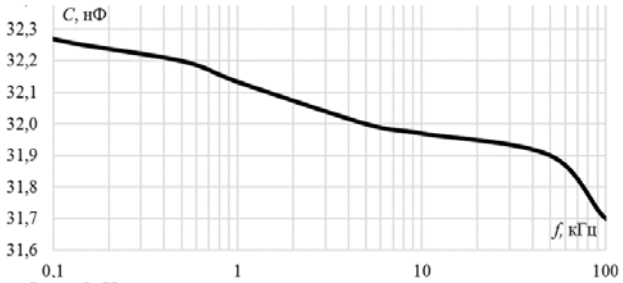
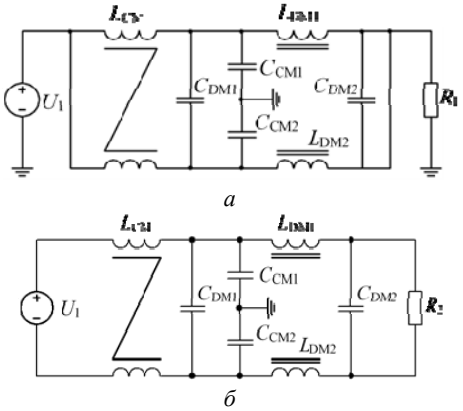


Рис. 5. Частотная зависимость емкости керамического конденсатора 2225GC333KAT1A

Для моделирования синфазной помехи оба входа фильтра соединены с генератором, а выход объединен и подключен к нагрузке измерительного тракта $R_1 = 50$ Ом. В дифференциальном режиме генератор включен между входными клеммами фильтра, а измерение осуществляется между выходными клеммами на нагрузке $R_2 = 100$ Ом. На схемотехнических моделях не изображено сопротивление генератора помехи U_1, однако оно учитывается при моделировании и составляет 50 Ом.



а

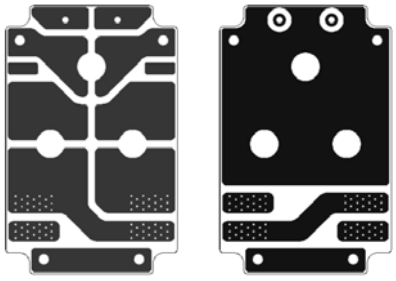
б

Рис. 6. Схемотехнические модели фильтра в синфазном (*а*) и дифференциальном (*б*) режимах

Разработан макет помехоподавляющего фильтра (рис. 7). Печатная плата фильтра выполнена с учетом двойного резервирования выводов в соответствии с техническим заданием на разработку (рис. 8). Проводящие части фильтра рассчитаны на постоянный ток 10 А.



Рис. 7. Фотография помехоподавляющего фильтра



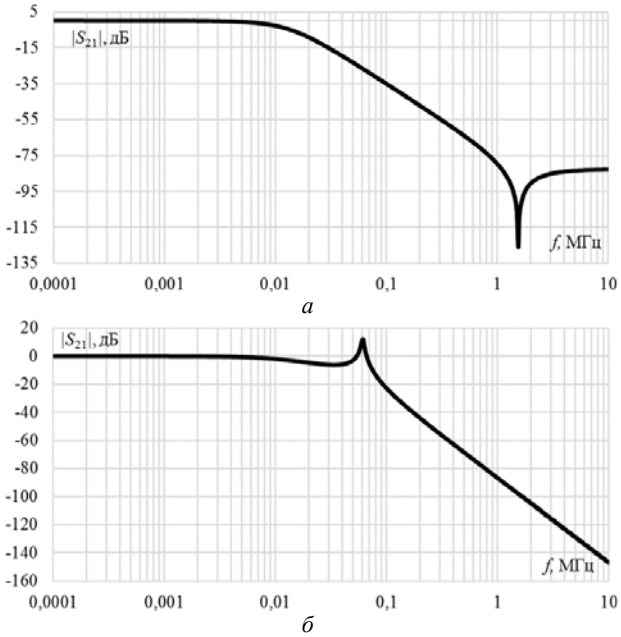
а *б*

Рис. 8. Фотошаблон для печатной платы по слоям металлизации: верхний (*а*), нижний (*б*)

Результаты моделирования и эксперимента до частоты 10 МГц представлены в таблице и на рис. 9 и 10.

Сравнение вычисленной и измеренной частот среза [кГц] для синфазного и дифференциального режимов

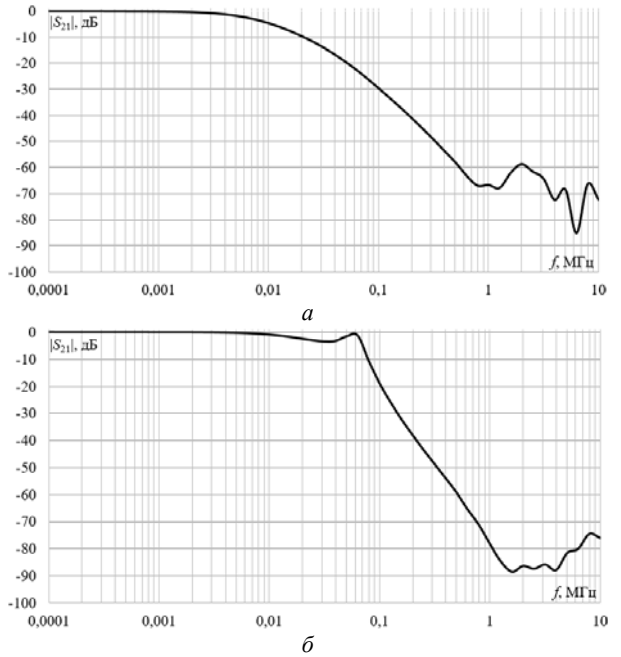
Режим	Моделирование	Эксперимент	Отклонение, %
Синфазный	68	66	1,49
Дифференциальный	11	7	22,22



а

б

Рис. 9. Коэффициент передачи фильтра в дифференциальном (*а*) и синфазном (*б*) режимах, полученный при моделировании



а

б

Рис. 10. Коэффициент передачи фильтра, полученный при эксперименте: в дифференциальном (*а*) и синфазном (*б*) режимах

Отклонение частот среза, полученных с помощью схемотехнического моделирования и эксперимента, составило 1,49% для синфазного и 22,22% для дифференциального режима. Формы амплитуд-

но-частотной характеристики (АЧХ) при моделировании и эксперименте для синфазного режима имеет схожий характер. При дифференциальном режиме в экспериментальных данных имеется резонанс на частоте 2 МГц. Различие АЧХ при моделировании и эксперименте в обоих режимах вызвано особенностями применяемого математического аппарата и неучтенными паразитными параметрами.

Заключение

Таким образом, разработан и исследован помехоподавляющий фильтр на элементах с сосредоточенными параметрами для силовой шины электропитания КА. Изготовлен рабочий макет фильтра. Приведено сравнение результатов схемотехнического моделирования и эксперимента. Выявлено, что схемотехническая модель позволяет спроектировать устройство помехозащиты с минимальными вычислительными затратами, однако для достижения приемлемой сопоставимости результатов моделирования и эксперимента требуется учесть множество паразитных параметров, взаимовлияния элементов схемы и печатной платы.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации по проекту RFMEFI57417X0172.

Литература

1. Газизов Т.Р. Электромагнитная совместимость и безопасность радиоэлектронной аппаратуры. – Томск: ТУСУР, 2007. – 254 с.

2. Заболоцкий А.М. Модели, алгоритмы, методики, технологии и устройства для обеспечения электромагнитной совместимости бортовой радиоэлектронной аппаратуры космического аппарата: дисс. ... д-ра техн. наук: 05.12.04, 05.12.07. – Томск, 2016. – 295 с.

3. Clavel E. Influence of the cabling geometry on paralleled diodes in a high power rectifier // IEEE Conf. Record of the Industry Applications Conference – San Diego. CA. – 1996 – Vol. 2. – P. 993–998.

4. Федеральная целевая программа «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014–2020 гг.»: утв. Постановлением Правительства Рос. Федерации от 21 мая 2013 г. № 426: в ред. Постановления Правительства Рос. Федерации от 21.07.2014 № 681, от 30.12.2015 № 1519, от 27.05.2016 № 473, от 26.12.2016 № 1497, от 25.09.2017 № 1156, от 22.10.2018 № 1256 // Собр. законодательства Российской Федерации. – 2013. – № 22. – Ст. 2810. – 2014. – № 31. – Ст. 4411; 2016. – № 2. – Ст. 392; № 23. – Ст. 3321; 2017. – № 2. – Ст. 337, № 40. – Ст. 5861, 2018. – № 44. – Ст. 6751.

5. Active common-mode filter for inverter power supplies with unbalanced and nonlinear load, Blacksburg / Ye. Zhihong, D. Boroyevich, Xing Kun, F.C. Lee, Liu Changrong // CPES. – 1999.

6. Research and design of a common mode hybrid EMI filter for switch-mode power supply, Hong Kong / Wang Ping, Tao Chenbin, Zhang Jinghai // IEEE. – 2009.

7. The active EMI filter for suppressing common-mode noise in bridge-less PFC converter system, China / Kikuchi Naoto, Hirono Tomohisa // IEEE. – 2016.

8. ГОСТ Р 56529–2015 Совместимость космической техники электромагнитная. Общие требования и методы испытаний. – М.: Стандартинформ, 2016. – 64 с.

9. Richard L.O. EMI filter design / L.O. Richard, M.P. Timothy // CRC Press. – 2012.

Доброславский Сергей Андреевич
Магистрант каф. ТУ ТУСУРа
Эл. почта: sdobroslavskiy@mail.ru

Жечев Евгений Сергеевич
Аспирант каф. ТУ ТУСУРа
Эл. почта: zhechev75@gmail.com

Костелецкий Валерий Павлович
Аспирант каф. ТУ ТУСУРа
Эл. почта: kosteletskiy@tu.tusur.ru

Заболоцкий Александр Михайлович
Д-р техн. наук, профессор каф. ТУ ТУСУРа
Эл. почта: zabolotsky_am@mail.ru

УДК 621.371.32

А.П. Фанякина, Р.Р. Хажибеков

Исследование амплитудно-частотных характеристик модального фильтра с лицевой связью с разделением пассивного проводника на отрезки

Рассматриваются амплитудно-частотные характеристики модального фильтра с лицевой связью при делении пассивного проводника на отрезки. Выполнено электродинамическое моделирование. Анализ результатов показал, что в режиме «КЗ–ХХ» с увеличением числа отрезков с одного до двух наблюдается увеличение частоты среза в 2–3 раза, а при дальнейшем увеличении числа отрезков изменения частоты среза незначительны. Изготовлен макет МФ с лицевой связью с числом отрезков пассивного проводника n=1, 2, 3, 5, 7. Результаты измерений частотной зависимости $|S_{21}|$ подтвердили возможность увеличения крутизны спада АЧХ и ширины полосы пропускания.

Ключевые слова: модальный фильтр, амплитудно-частотная характеристика, связанная линия, электродинамическое моделирование.

Защита радиоэлектронной аппаратуры от электромагнитных помех была и остается актуальной задачей. Для защиты от воздействия сверхкороткого импульса (СКИ) используются модальные фильтры (МФ). В них применяются особые структуры, способствующие разложению СКИ на импульсы меньшей амплитуды. Однако необходимо совершенствовать структуры и характеристики МФ. Одной из таких задач является обеспечение более крутого спада амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) и увеличение ширины полосы пропускания МФ. Решение данных задач позволит улучшить подавление СКИ и обеспечить целостность полезного сигнала [1].

Известно, что одним из возможных решений по обеспечению крутого спада на частотной зависимости $|S_{21}|$ является добавление дополнительных звеньев в фильтр [2]. Предлагается применение этой технологии для МФ путем деления пассивного проводника на последовательность отрезков линии передачи [3].

Управление величиной емкости или индуктивности таких отрезков возможно при включении их концов в короткозамкнутом или разомкнутом режимах. Так, для отрезка, включенного вначале в режиме короткого замыкания (КЗ) и холостого хода (ХХ) в конце, при его длине $l \ll \lambda/4$ происходит сильное возрастание последовательной индуктивности, а при увеличении длины отрезка от $\lambda/4$ возрастает последовательная емкость.

Цель работы – выполнить моделирование и измерение амплитудно-частотных характеристик МФ с лицевой связью при делении пассивного проводника на отрезки.

Электродинамическое моделирование

Для анализа взята структура МФ с лицевой связью с геометрическими параметрами: ширина проводника w = 5,5 мм, расстояние между проводниками s = 2 мм, толщина проводников t = 0,105 мм, толщина диэлектрика h = 0,79 мм. Материал подложки – FR-4 (ε_r = 4,3). Поперечное сечение исследуемой структуры представлено на рис. 1, где А – активный проводник, П – пассивный проводник и О – опорный проводник. Данная структура имеет среднее геометрическое волновых сопротивлений четной и нечетной мод 50 Ом.

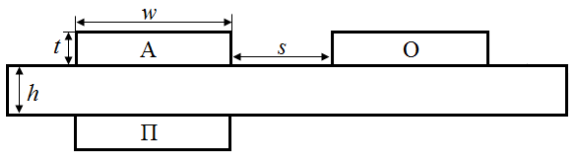


Рис. 1. Поперечное сечение МФ с лицевой связью

Электродинамическое моделирование проводилось до частоты 2 ГГц. На рис. 2 представлена схема включения МФ. Значения R_1, R_2, R_n меняются в зависимости от режима включения пассивного проводника.

Длина одного отрезка в структуре выбиралась равной l/n, где l = 276 мм. В табл. 1 приведена зависимость длины одного отрезка от числа отрезков МФ.

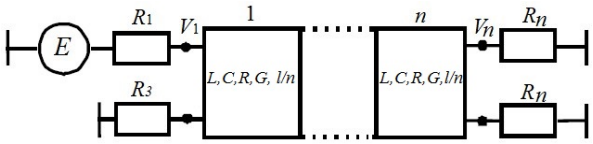


Рис. 2. Схема включения многокаскадных МФ в режиме «КЗ–ХХ»

Таблица 1

Зависимость длины одного отрезка от числа отрезков

Число отрезков n	1	2	3	4	5	6	7
Длина отрезка, мм	276	138	92	69	55,2	46	39,4

На рис. 3 представлены частотные зависимости ($|S_{21}|$), полученные в результате моделирования в режиме при включении отрезков пассивного проводника вначале в режиме короткого замыкания и холостого хода в конце (КЗ–ХХ).

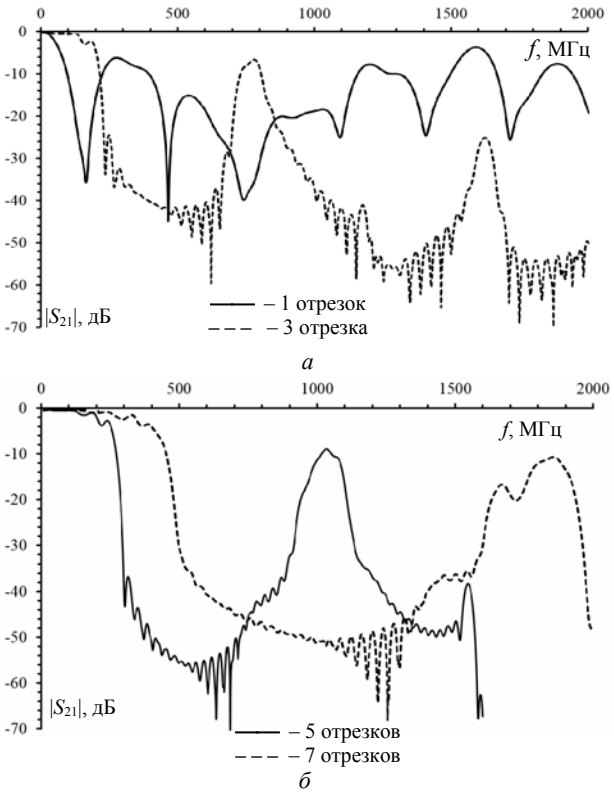


Рис. 3. Частотные зависимости $|S_{21}|$ МФ 1 и 3 (*а*) и 5 и 7 (*б*) отрезков

В табл. 2 показана зависимость частоты среза от количества отрезков в режиме КЗ-ХХ. При изменении числа отрезков с одного до двух наблюдается ее увеличение в 2 раза, а далее – на 10–55%.

Таблица 2

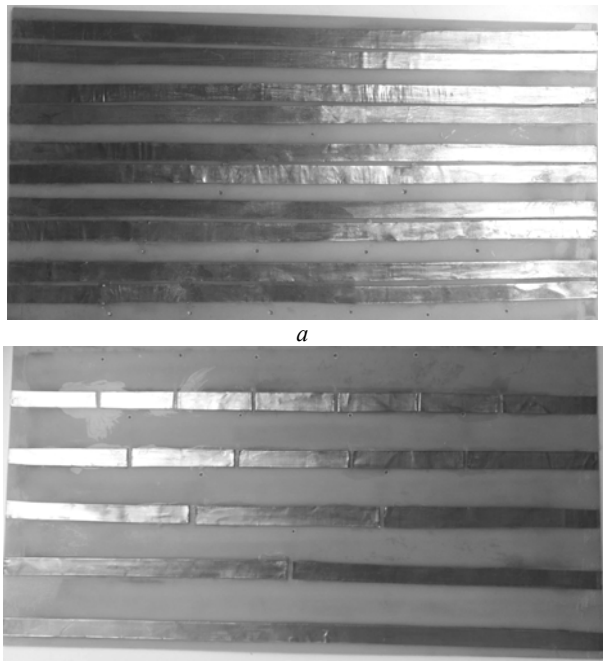
Зависимость частоты среза от числа отрезков МФ: моделирование

Число отрезков n	1	2	3	4	5	6	7
$f_{ср}$, МГц	57	122	190	204	229	327	349

Натурный эксперимент

Для подтверждения возможности увеличения крутизны спада АЧХ за счет добавления дополнительных звеньев в фильтр МФ выполнен натурный эксперимент. Изготовлена печатная плата (ПП) МФ

с лицевой связью с числом отрезков n = 1, 2, 3, 5, 7 (рис. 4). Параметры структуры: ширина проводника w = 9 мм, расстояние между проводниками s = 2 мм, толщина проводников t = 0,036 мм, толщина диэлектрика h = 1,464 мм. Среднее геометрическое волновых сопротивлений четной и нечетной мод этой структуры, рассчитанное в системе TALGAT, равно 50,51 Ом. Отрезки пассивного проводника включались в режиме КЗ–ХХ (каждый отрезок пассивного проводника соединялся с опорным проводником через переходное отверстие). Измерение частотной зависимости $|S_{21}|$ многокаскадных МФ с лицевой связью выполнялось скалярным анализатором цепей Р2М-40.



а

б

Рис. 4. Фото МФ: снизу (*а*) и сверху (*б*)

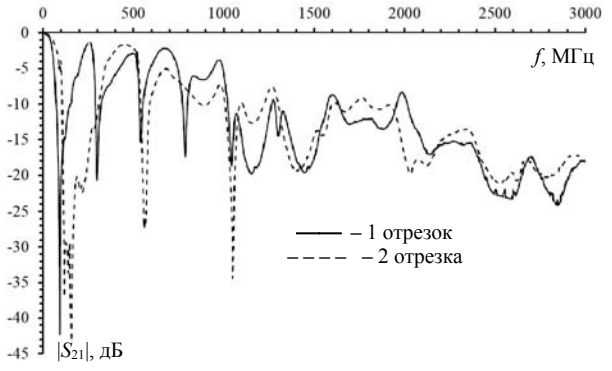
В табл. 3 представлена зависимость частоты среза от количества отрезков МФ. Измеренные частотные зависимости $|S_{21}|$ приведены на рис. 5б.

Из графиков и табл. 3 видно, что с изменением числа отрезков с 1 до 2 частота среза увеличивается в 1,5 раза, а также при дальнейшем увеличении числа отрезков частота среза увеличивается на 10–20%.

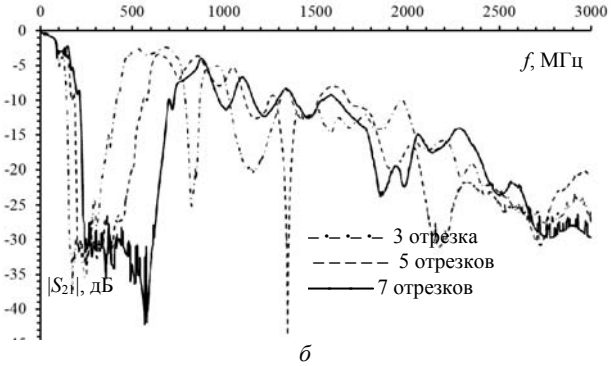
Заключение

В работе исследовано влияние деления пассивного проводника МФ на отрезки на частотную зависимость $|S_{21}|$. Выполнено электродинамическое моделирование. Анализ результатов показал, что с увеличением числа отрезков с одного до двух наблюдается увеличение частоты среза в 2–3 раза, а при дальнейшем увеличении числа отрезков изменения частоты среза незначительны. Изготовлен макет МФ с лицевой связью с числом отрезков пассивного проводника n=1, 2, 3, 5, 7.

Результаты измерений частотной зависимости $|S_{21}|$ подтвердили возможность увеличения крутизны спада АЧХ и ширины полосы пропускания.



а



б

Рис. 5. Измеренные частотные зависимости $|S_{21}|$ МФ с лицевой связью с числом отрезков 1, 2 (*а*) и 3, 5, 7 (*б*)

Таблица 3

Зависимость частоты среза от числа отрезков МФ: эксперимент

Число отрезков n	1	2	3	5	7
$f_{ср}$, МГц	49	76	115	140	149

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации по проекту RFMEFI57417X0172.

Литература

1. Заболоцкий А.М. Электромагнитная совместимость: модальные технологии: учеб. пособие / А.М. Заболоцкий, Т.Р. Газизов. – Томск: Изд-во ТУСУР, 2018. – 132 с.

2. Хоровиц П. Искусство схемотехники: пер. с англ. / П. Хоровиц, У. Хилл. – 6-е изд. – М.: Мир, 2003. – 704 с.

3. Соломоник И.Ш. Малогабаритная печатная длинная линия с равномерно распределенными параметрами // Тр. ТИРиЭТА. – 1972. – Вып. 7.

Фанякина Анастасия Павловна
Магистрант каф. ТУ ТУСУРа
Эл. почта: fanyakinaap@gmail.com

Хажибеков Роман Русланович
Аспирант каф. ТУ ТУСУРа
Эл. почта: r300994@mail.ru

УДК 621.396.41

А.М. Лакоза, В.П. Костелецкий, Е.С. Жечев, А.М. Заболоцкий

Исследование характеристик гибридного помехоподавляющего дросселя

Выполнен расчет гибридного защитного дросселя на связанных сердечниках. В результате исследования был реализован макет гибридного помехоподавляющего защитного дросселя.
Ключевые слова: синфазная помеха, дифференциальная помеха, дроссель, синфазно-дифференциальный дроссель, помехоподавляющий фильтр.

Основной задачей при уменьшении габаритов защитных помехоподавляющих устройств является эффективное уменьшение габаритов и количества используемых индуктивных компонентов. Предлагаемая структура гибридного помехоподавляющего защитного дросселя позволяет одновременно подавлять синфазную и дифференциальную составляющую помехи при эквивалентном уровне помех. Апробация методики реализации гибридных помехозащитных дросселей необходима для полученных статистических данных с целью дальнейшего анализа и совершенствования методики изготовления дросселей подобного типа.

Цель работы – выполнить расчет помехоподавляющего защитного дросселя на связанных сердечниках, реализовать макет и выполнить анализ частотных характеристик.

Ключевые особенности

Синфазно-дифференциальный дроссель – дроссель с комбинированной структурой, которая сочетает в себе особенности синфазных и дифференциальных защитных дросселей, позволяя одновременно подавлять оба типа помех: обмотки обоих плеч, вследствие сборной конструкции, при которой в верхней части ферритового сердечника большого диаметра устанавливаются два дополнительных сердечника меньших диаметров, образуют собой четыре катушки, из которых две верхние катушки обеспечивают подавление помехи дифференциального типа, а две нижние катушки отвечают за подавление помехи синфазного вида [1]. На рис. 1 изображена структурная схема гибридного помехоподавляющего дросселя.

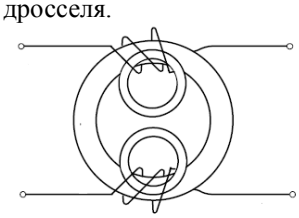


Рис. 1. Структурная схема гибридного дросселя

В силу конструктивных особенностей гибридного дросселя измерение значения индуктивности следует также выполнить в нескольких конфигурациях включения для получения отдельных значений индуктивности синфазных и дифференциальных составляющих катушек, необходимых для дальнейшего анализа.

На рис. 2 изображено расположение обмоток на сердечниках гибридного дросселя.

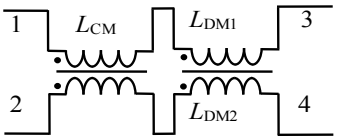


Рис. 2. Схемы расположения обмоток гибридного дросселя

Формулы основных режимов работы

Все обмотки, выполненные на магнитном сердечнике гибридной конструкции, объединяет наличие взаимной индуктивности: когда вблизи катушки с током расположена другая катушка и часть магнитного потока первой катушки будет пронизывать витки второй. Величина этого потока определяется геометрическими параметрами катушек, их взаимным расположением, а также магнитными свойствами окружающей среды. Для катушек, связанных между собой взаимной индуктивностью, данный коэффициент рассчитывается как

$$M = k\sqrt{L_1 L_2}. \quad (1)$$

Поскольку катушки дросселя расположены на общем магнитном сердечнике и, соответственно, в непосредственной близости друг от друга, то эмпирические формулы для вычисления синфазных и дифференциальных частей катушки принимают следующий вид: синфазная индуктивность синфазного дросселя:

$$L_{CM(CM)} = \frac{L_1 + M}{2} = L_1, \quad (2)$$

где L_1 – индуктивность катушки дросселя, M – значение взаимной индуктивности (поскольку магнитные потоки в данном случае складываются, значение взаимной индуктивности приравнивается к индуктивности катушки и берется с положительным знаком) [2].

Дифференциальная индуктивность синфазного дросселя:

$$L_{DM(CM)} = 2(L_1 - M) = 0. \quad (3)$$

В случае прохождения дифференциальной помехи магнитные потоки компенсируются, значение взаимной индуктивности также приравнивается к индуктивности катушки, но вследствие встречного включения берется с отрицательным знаком.

Дифференциальная индуктивность дифференциального дросселя:

$$L_{\mathrm{DM(DM)}} = 2\left(L_1 + M\right) = 4L_1, \quad (4)$$

где L_1 – индуктивность катушки дросселя, M – значение взаимной индуктивности.

Магнитные потоки складываются, значение взаимной индуктивности приравнивается к индуктивности катушки и берется с положительным знаком.

Синфазная индуктивность дифференциального дросселя:

$$L_{\mathrm{CM(DM)}} = \frac{L_1 - M}{2} = 0. \quad (5)$$

Магнитные потоки компенсируются, значение взаимной индуктивности также приравнивается к индуктивности катушки, но вследствие встречного включения берется с отрицательным знаком.

Чтобы выделить синфазную и дифференциальную часть из общего значения индуктивности, необходимо решить эмпирическое соотношение для каждого варианта включений на основе (1)–(5):

$$L_{13}, L_{24} = L_C + L_D. \quad (6)$$

Выражение (6) позволяет найти численное значение индуктивности каждой обмотки дросселя:

$$L_{13} + L_{24} = 4L_C + 2L_D. \quad (7)$$

При помощи выражения (7) находят суммарное значение индуктивности обеих обмоток, подключённых последовательно.

$$L_{13} \,||\, L_{24} = L_D + \frac{Lc}{2}. \quad (8)$$

При помощи выражения (8) находится общее значение индуктивности обеих обмоток, подключённых параллельно.

$$L_{13} + L_{42} = 2L_C. \quad (9)$$

Выражение (9) позволяет вычислить удвоенное значение индуктивности синфазной части дросселя.

Для вычисления изначального значения индуктивности защитного дросселя используется выражение

$$L = 0{,}0004 \times \mu h N^2 \frac{D_1 - D_2}{D_1 + D_2}, \quad (10)$$

где D_1 и D_2 – внешний и внутренний диаметры ферритового кольца, h – высота ферритового кольца, N – количество витков провода, μ – магнитная проницаемость ферритового кольца [3].

Расчет, реализация и измерение

Исходные параметры: синфазные и дифференциальные обмотки гибридного дросселя – реализованы с использованием двух видов сердечников: две нижние обмотки синфазной части реализованы с использованием ферритового сердечника физическими размерами R40×24×16 и значением начальной магнитной проницаемости μ_0 = 2000. Две верхние обмотки дифференциальной части гибридного дросселя реализованы на двух ферритовых сердечниках с физическими размерами R16×10×4,5 и значением начальной магнитной проницаемости μ_{02} = 2000. Для простоты реализации синфазно-дифференциального дросселя количество витков для всех обмоток было выбрано одинаковым (15 витков).

На основе (10) рассчитаем значения синфазной и дифференциальной части защитного дросселя на основе каждого типа сердечника:

$$L_{\mathrm{DM1,DM2}} = 0{,}0004 \times \mu h N^2 \frac{D_1 - D_2}{D_1 + D_2} = = 0{,}0004 \times 2000 \times$$

$$\times 16 \times 15^2 \times \frac{40 - 24}{40 + 26} = 819{,}2 \text{ мкГн}, \quad (11)$$

$$L_{\mathrm{CM}} = 0{,}0004 \times \mu h N^2 \frac{D_1 - D_2}{D_1 + D_2} = = 0{,}0004 \times 2000 \times$$

$$\times 4{,}5 \times 15^2 \times \frac{16 - 10}{16 + 10} = 162{,}8 \text{ мкГн}. \quad (12)$$

На рис. 3 изображен готовый прототип гибридного дросселя.

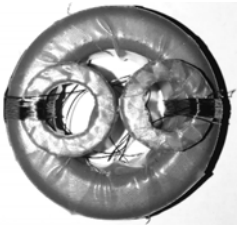


Рис. 3. Гибридный защитный дроссель

На рис. 4 представлены измеренные частотные зависимости $|S_{21}|$ исследуемого дросселя.

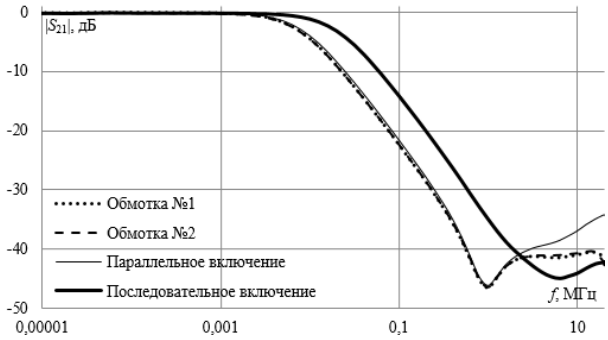


Рис. 4. Частотные зависимости $|S_{21}|$ синфазно-дифференциального дросселя

Видно, что крутизна спада характеристик всех представленных вариантов включения одинакова и равна 20 дБ/дек. Частота среза для первых трех вариантов включения составляет 8,5 кГц, для последовательного – 19 кГц. На рис. 8 представлены измеренные частотные зависимости индуктивности исследуемого дросселя.

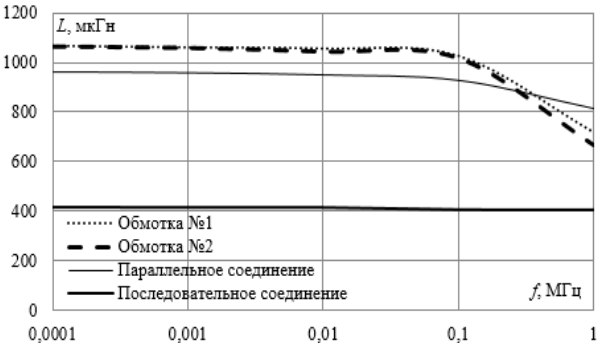


Рис. 4. Частотные зависимости индуктивности синфазно-дифференциального дросселя

Наблюдаемое падение значений индуктивности на частотах больше частоты среза является следст-

вием того, что в высокочастотной области сердечник перенасыщается. При последовательном включении обмоток катушек синфазно-дифференциального дросселя индуктивность не равна нулю из-за перенасыщения сердечника [4].

По результатам измерений получены значения, приведенные в табл. 1.

Таблица 1

Измеренные индуктивности макета

Вариант включения	Значение индуктивности, мкГн
L_{13}, L_{24}	1064
$L_{13} + L_{24}$	4042
$L_{13} \parallel L_{24}$	951
$L_{13} + L_{42}$	416

Используя выражения (6)–(9), вычислим измеренное значение индуктивностей синфазной и дифференциальной части гибридного дросселя:

$$L_{13}, L_{24} = 2L_C = 416 \rightarrow L_C = \frac{416}{2} = 208 \text{ мкГн}, \quad (13)$$

$$L_{13} \parallel L_{24} = L_D + \frac{Lc}{2} = 1064 \rightarrow L_D + \frac{208}{2} = 1064 \rightarrow L_D +$$

$$+104 = 1064 \rightarrow L_D = 1064 - 104 = 960 \text{ мкГн}. \quad (14)$$

Расчет, реализация и измерение

По результатам моделирования и измерения синфазно-дифференциального дросселя были получены следующие значения индуктивностей, представленные в табл. 2.

Таблица 2

Значения индуктивности макета, мкГн

Источник данных	Синфазная	Дифференциальная
Расчет	162,8	819,2
Измерение	208	960

Анализируя полученные значения, стоит отметить превышение измеренного значения индуктивности синфазной обмотки на 17% относительно значения при моделировании и превышение измеренного значения дифференциальной обмотки индуктивности на 27% относительно значения при моделировании. Подобная разница может обусловливаться многими факторами, а именно: погрешностью измерительного прибора, геометрической несоосностью катушек, отклонением заявленных характеристик магнитных сердечников, а также дополнительными индуктивными связями между катушками.

Заключение

В результате исследования были получены экспериментальные данные для дальнейшего усовершенствования методики изготовления гибридного защитного дросселя, а также реализован рабочий прототип.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации по проекту RFMEFI57417X0172.

Литература

1. Nan L. A common mode and differential mode integrated EMI filter / L. Nan, Y. Yugang // 2006 CES/IEEE 5th International Power Electronics and Motion Control Conference. – Shanghai, China, 2006. – 5 p.

2. Richard L.O. EMI-filter design / L.O. Richard, M.P. Timothy // CRC Press. – 2012.

3. Дьяконов В.П. Справочник по расчетам на микрокалькуляторах. – 2-е изд., испр. – М.: Наука, 1986. – 226 с.

4. Shiraki Y. Inductance Analysis for Compact Dual-Mode Choke Considering Magnetic Saturation / Y. Shiraki, S. Yoneda, K. Omae, T. Nagao // International Symposium on Electromagnetic Compatibility (EMC Europe 2018). – Amsterdam, The Netherlands, 2018.

Лакоза Александр Михайлович
Магистрант каф. ТУ ТУСУРа
Эл. почта: alexandrlakoza@mail.ru

Костелецкий Валерий Павлович
Аспирант каф. ТУ ТУСУРа
Эл. почта: kosteletskiy@tu.tusur.ru

Жечев Евгений Сергеевич
Аспирант каф. ТУ ТУСУРа
Эл. почта: zhechev75@gmail.com

Заболоцкий Александр Михайлович
Д-р техн. наук, профессор каф. ТУ ТУСУРа
Эл. почта: zabolotsky_am@ru

УДК 621.391.825

А.В. Медведев

Ослабление сверхкороткого импульса после отказа при модальном резервировании

Отмечена актуальность исследований по рациональному использованию избыточности резервирования, используя способы модального резервирования (МР), для повышения устойчивости к сверхкоротким импульсам (СКИ). Выполнено квазистатическое моделирование распространения СКИ в структурах с однократным МР на макете печатной платы на основе тракта 50 Ом. Рассмотрены отказы двух типов: короткое замыкание и обрыв / холостой ход. Показано, что для однократного МР амплитуда выходного напряжения увеличивается на 38%, так что ослабление СКИ уменьшается с 2,3 до 1,7 раза.

Ключевые слова: электромагнитная совместимость, надежность, холодное резервирование, модальное резервирование, печатная плата, отказ, сверхкороткий импульс.

При создании необслуживаемой или частично обслуживаемой радиоэлектронной аппаратуры (РЭА), например, для космической или авиационной техники, большое внимание уделяется надежности и электромагнитной совместимости (ЭМС). Кондуктивные и излучаемые эмиссии могут приводить к нарушению работы бортовой РЭА. Поэтому необходимо учитывать ЭМС на ранних этапах проектирования [1]. В частности, особенно опасно воздействие мощных сверхкоротких импульсов (СКИ), потому что существующие сетевые фильтры не защищают от них [2]. Есть промышленные устройства, защищающие от СКИ, но они имеют большие габариты и высокую стоимость, так что нет недорогой и эффективной защиты от СКИ. Однако растущая роль электроники делает такую защиту всё более актуальной.

Одним из методов повышения надежности бортовой РЭА является холодное резервирование [3]. Оно позволяет создавать высоконадёжные системы из типовых изделий широкого применения, используя бездействующую часть электронного оборудования в случае неисправности в функционирующей части. Необходимость надлежащей защиты от СКИ, а также наличие избыточности за счет холодного резервирования значительно усложняют все части и, как следствие, окончательную конструкцию аппаратуры. Между тем наличие избыточности может быть рационально использовано.

Так, предложена идея модального резервирования (МР), позволяющая, на основе модальной фильтрации улучшить помехозащиту РЭА [4]. Она использует бездействующие электрические межсоединения для повышения помехоустойчивости и защиты электронных систем от электромагнитных помех. МР основано на использовании электромагнитных связей между резервируемым и резервным проводниками резервируемой и резервной цепей.

Описана реализация МР в многослойных печатных платах (ПП) [5, 6]. Рассмотрена эффективность МР в различных типах межсоединений [7]. Однако отказ электронных компонентов не рассматривался. Между тем он может влиять на ослабление помех при МР.

Цель работы – исследовать МР при отказе электронных компонентов. В работе выполнено квазистатическое моделирование распространения СКИ в структуре с однократным МР на макете ПП на основе тракта 50 Ом. Рассмотрены отказы двух типов: короткое замыкание (КЗ) и обрыв/холостой ход (ХХ).

Суть модального резервирования

Реализация модального резервирования в многослойных ПП показана на рис. 1. Резервируемая цепь расположена на ПП 1, а резервная цепь – на ПП 2. Опорный проводник на платах выполнен в виде отдельных слоев. Между ПП 1 и 2 проложен слой диэлектрика. Соответствующие друг другу трассы резервируемой и резервной цепей расположены параллельно и друг под другом в слое диэлектрика, резервируемые и резервные радиоэлектронные компоненты размещаются на противоположных склеиваемым сторонах резервируемой и резервной ПП. Результатом является уменьшение восприимчивости резервируемой цепи к внешним кондуктивным эмиссиям и уменьшение уровня кондуктивных эмиссий от резервируемой цепи. Он достигается за счет того, что импульс помехи, меньше определенной длительности, подвергается разложению на импульсы меньшей амплитуды, а помеха на заданной частоте может значительно ослабляться.

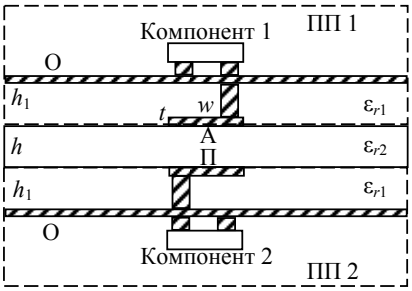


Рис. 1. Способ компоновки многослойной ПП для цепей с резервированием, где проводники А – активный, П – пассивный, О – опорный

Подход к моделированию

Моделирование проводилось в системе TALGAT [8] без учета потерь в проводниках и диэлектриках. Оно основано на методе моментов и позволяет выполнить квазистатический анализ структур произвольной сложности. Алгоритм, реализованный в системе, позволяет вычислять матрицы (**L** и **C**) погонных параметров многопроводной линии передачи. Используя модифицированный метод узловых потенциалов в частотной области и быстрое преобразование Фурье, можно рассчитать временной отклик на воздействие произвольной формы.

Квазистатический анализ основан на допущении, что в структуре распространяется только поперечная электромагнитная волна, в отличие от электродинамического анализа, где учитываются все типы волн. Однако сравнение результатов квазистатического и электродинамического моделирования для различных поперечных сечений фрагментов ПП с МР показывает, что результаты согласуются, а временные затраты на квазистатическое моделирование на 2–3 порядка меньше, чем на электродинамическое [9].

Исследуемая структура

В качестве исследуемой структуры выбран макет ПП с МР на основе тракта 50 Ом [10] (рис. 2).

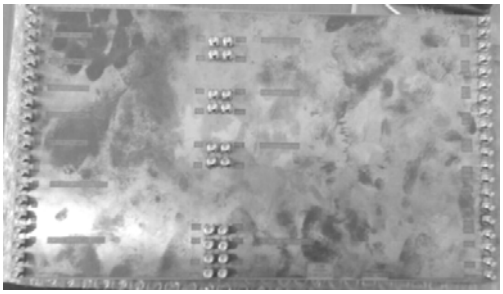


Рис. 2. Фотография макета ПП с МР

Он включает в себя наборы (по количеству и длине линий) электрических соединений с однократным и трехкратным МР. Стек ПП со значениями параметров приведен на рис. 3. Для диэлектрика Rogers RO3010 полагалось, что ε_{r2} = 10,2, для препрега FR-4 ε_{r1} = 4. Данный макет взят для анализа, так как он реализован с учетом параметров ПП, используемых при проектировании реальной РЭА.

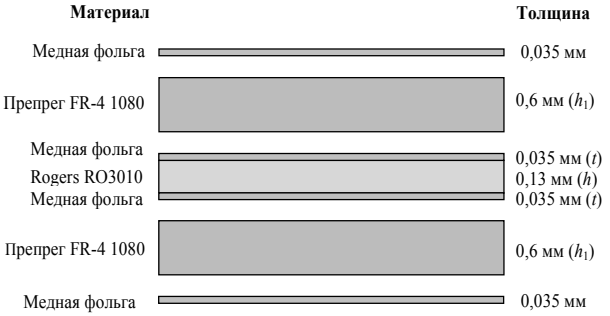


Рис. 3. Стек ПП

Поперечное сечение для моделирования структуры длиной 0,324 м с однократным МР представлено на рис. 4, *а*. Для моделирования использованы значения из рис. 3. Значения остальных параметров: ширина проводника w = 185 мкм, расстояние от торца проводника до торца диэлектрика d = 555 мкм, расстояние от торца проводника до боковой стенки d_1 = 740 мкм.

Принципиальная схема для моделирования структуры с однократным МР приведена на рис. 4, *б*. При отказе резервируемой цепи (КЗ или ХХ) полагается, что резервная цепь берет на себя функции резервируемой цепи. При моделировании номиналы резисторов *R*1 и *R*2 для активного проводника выбраны равными 50 Ом. Номиналы резисторов *R*3 и *R*4 для пассивного проводника задавались 50 Ом, 1 МОм (ХХ), 1 мкОм (КЗ) для различных вариантов отказа.

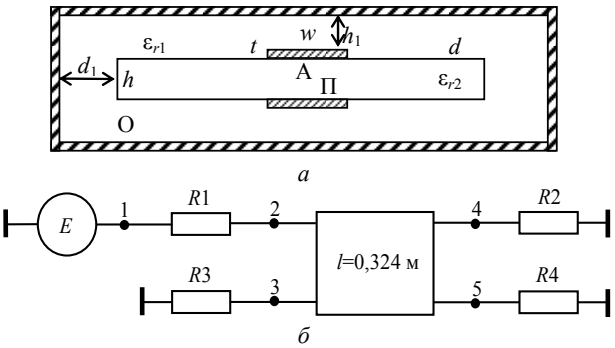


Рис. 4. Поперечное сечение (*а*) и принципиальная схема (*б*) структуры с однократным МР в системе TALGAT

Результаты моделирования

Чтобы разложение воздействующего импульса было как можно более полным, его общая длительность должна быть разности задержек мод исследуемой структуры. Для этого получены задержки мод для рис. 4, *а* (2,37 и 3,08 нс) как произведение рассчитанных в системе TALGAT значений погонных задержек на 0,324 м. На рис. 5 представлена форма ЭДС амплитудой 2 В общей длительностью 600 пс, использованная для воздействия на исследуемую структуру.

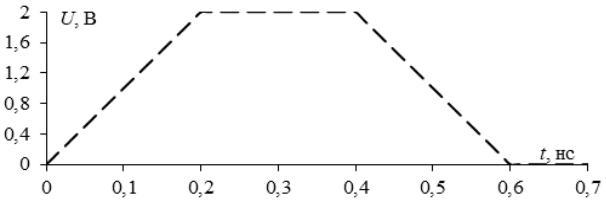


Рис. 5. Форма воздействующей ЭДС

На рис. 6 приведены формы напряжения на ближнем (узел 2 на рис. 4, *б*) и дальнем (узел 4 на рис. 4, *б*) концах активного проводника в структуре с МР при различных граничных условиях на одном из концов пассивного проводника, которые могут возникнуть при отказе компонента.

В рабочем состоянии при резисторах на концах пассивного проводника 50 Ом амплитуда напряжения на ближнем конце активного равна 1 В. При ХХ или КЗ на дальнем конце пассивного проводника максимальные амплитуды напряжения на ближнем конце активного проводника равны 1 В. А при ХХ или КЗ на ближнем конце пассивного проводника амплитуды напряжения на ближнем конце активного проводника равны 1,14 и 0,86 В соответственно. При этом формы напряжения на дальнем конце активного проводника для отказа одного типа совпадают.

На рис. 7 для ясности приведены отдельно формы напряжения двух первых импульсов на дальнем конце активного проводника в структуре с МР. Амплитуды импульсов меняются по-разному в зависимости от типа отказа. Задержки мод по отклику соответствуют рассчитанным из параметров.

В рабочем состоянии при резисторах на концах пассивного проводника 50 Ом напряжения каждого из импульсов на дальнем конце резервируемого проводника 0,42 В. При отказе компонента (КЗ или ХХ) на одном из концов пассивного проводника формы напряжений на дальнем конце активного проводника изменяются (рис. 7). Это обусловлено влиянием, которое оказывает изменение граничных условий пассивных проводников на согласование активного проводника. Для ХХ на одном из концов пассивного проводника, первый импульс больше по амплитуде на 0,16 В, а второй меньше на 0,16 В, чем в рабочем состоянии (±38%). Максимальная амплитуда импульсов 0,58 В. Для КЗ на одном из концов пассивного проводника, наоборот, первый импульс разложения на 0,16 В меньше, а второй на 0,16 В больше, чем в рабочем состоянии. Отношение половины ЭДС к максимальному напряжению на дальнем конце резервируемой цепи при отказе компонента равно 1,7, а для цепи в рабочем состоянии – 2,3 раза.

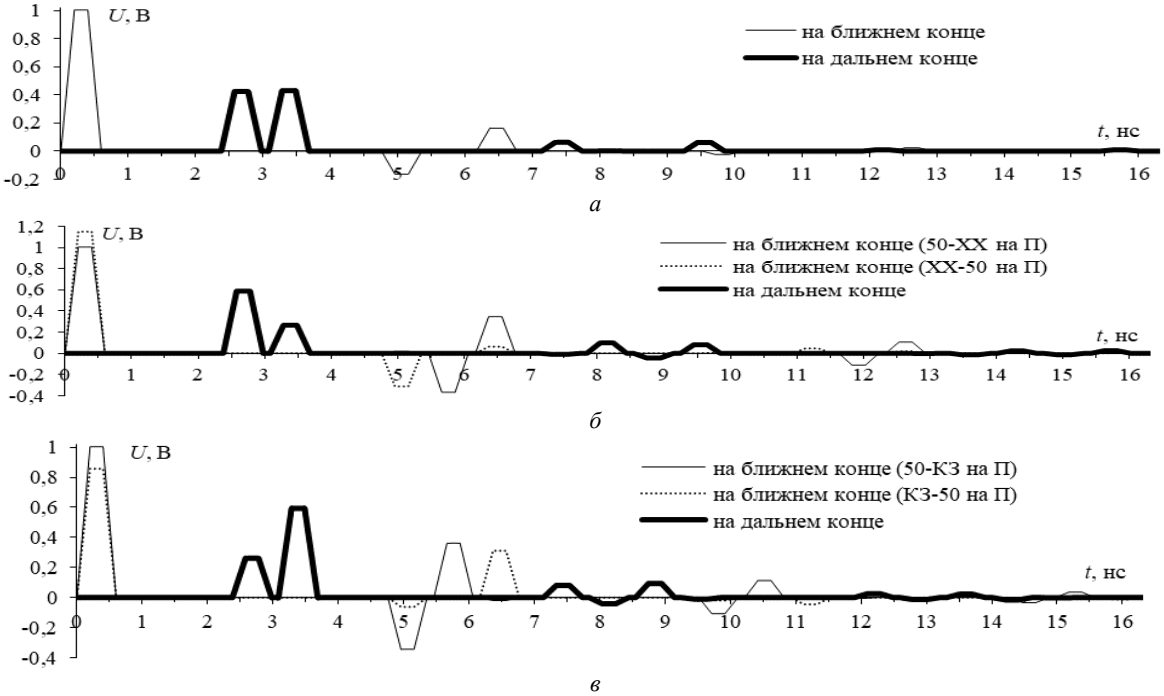


Рис. 6. Формы напряжения на ближнем и дальнем концах активного проводника в структуре с МР при различных граничных условиях на одном из концов пассивного проводника (П): 50 Ом (*а*), ХХ (*б*), КЗ (*в*)

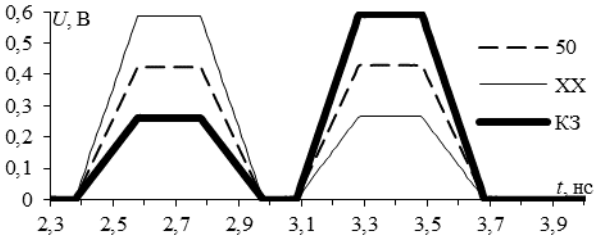


Рис. 7. Формы напряжения двух первых импульсов на дальнем конце активного проводника в структуре с МР при различных граничных условиях на одном из концов пассивного проводника

Заключение

Рассмотрен отказ компонентов системы с МР на основе тракта 50 Ом. Полагалось, что цепь в рабочем состоянии, если граничные условия на концах проводников примерно соответствуют 50 Ом, а при отказе одного компонента системы на одном из концов цепи образуется КЗ или ХХ. Показано, что при отказе помехоустойчивость может значительно изменяться. Для однократного МР амплитуда отклоняется на 38%, так что ослабление уменьшается с 2,3 до 1,7 раза.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект №19-19-00424) в ТУСУРе.

Литература

1. Paul C.R. Introduction to Electromagnetic Compatibility – Wiley Interscience. 2006. – 1013 p.

2. Gizatullin Z.M. Investigation of the immunity of computer equipment to the power-line electromagnetic interference / Z.M. Gizatullin, R.M. Gizatullin // Journal of Communications Technology and Electronics. – 2016. – No. 5. – P. 546–550.

3. Patel M.R. Spacecraft Power Systems – CRC Press, 2005. – 691 p.

4. New concept of critical infrastructure strengthening / T.R. Gazizov, P.E. Orlov, A.M. Zabolotsky, S.P. Kuksenko // Proc. of the 13th Int. Conf. of Numerical Analysis and Applied Mathematics. Sept. – 2015. – P. 1–3.

5. Orlov P.E. Method of assembling multi-layer printed circuit boards for circuits with reservation / P.E. Orlov, E. Buichkin, T.R. Gazizov // Proc. of the EDM 2016 Erlagol. – 2016. – P. 155–158.

6. Method for assembling a multilayer circuit board for triple-reserved circuits / P.E. Orlov, E. Buichkin, A. Belousov, T.R. Gazizov // Proc. of the XIII Int. Siberian Conf. on Control and Communications, Astana, Kazakhstan, June 29–30. – 2017. – P. 1–4.

7. Orlov P.E. Evaluation of efficiency of modal filtration in different types of redundant electrical connections / P.E. Orlov, T.R. Gazizov, E. Buichkin // Proc. of the XII Int. Siberian Conf. on Control and Communications, Moscow, Russia, May 12–14. – 2016. – P. 1–3.

8. New developments for improved simulation of interconnects based on method of moments / S.P. Kuksenko, T.R. Gazizov, A.M. Zabolotsky, R.R. Ahunov, R.S. Surovtsev, V.K. Salov, Eg.V. Lezhnin // Advances in Intelligent Systems Research (ISSN 1951-6851), proc. of the 2015 Int. Conf. on Mo-delling, Simulation and Applied Mathematics (MSAM2015), Phuket, Thailand, August 23–24. – 2015. – P. 293–301.

9. Orlov P.E. Quasistatic and electromagnetic simulation of interconnects of printed circuit boards with modal reservation / P.E. Orlov, E. Buichkin // 18th International Conference of Young Specialists on Micro/Nanotechnologies and Electron Devices. – 2017. – P. 5.

10. Orlov P.E. Optimization of stack parameters of a multi-layer printed circuit board for circuits with redundancy by genetic algorithm / P.E. Orlov, T.R. Gazizov, V.R. Sharafutdinov // Proc. 2017 IEEE 2017 Int. multi-conf. on eng., comp. and inform. sciences. – 2017. – P. 495–500.

Медведев Артём Викторович
Инженер НИЛ «БЭМС РЭС»
Эл. почта: medart20@rambler.ru

УДК 621.37

К.П. Малыгин, А.В. Носов, Р.С. Суровцев

Оптимизация витка меандровой линии по критериям равенства интервалов времени между импульсами разложения и минимизации амплитуды на выходе линии

Выполнена многокритериальная оптимизация параметров поперечного сечения витка меандровой МПЛ. Впервые сформулирована целевая функция из двух критериев: равенства интервалов времени между импульсами разложения и минимизации амплитуды. Все полученные посредством ГА параметры поперечного сечения меандровой МПЛ обеспечивают выполнение сформулированных критериев. Получено ослабление СКИ не менее 2,34 раза.

Ключевые слова: меандровая линия, параметрическая оптимизация, генетический алгоритм, многокритериальная целевая функция, сверхкороткий импульс.

Сегодня при проектировании радиоэлектронной аппаратуры (РЭА) предъявляются жесткие требования к обеспечению электромагнитной совместимости (ЭМС). Одной из важных задач ЭМС является защита РЭА от различных электромагнитных воздействий (ЭМВ), которые могут быть как природными (электростатический разряд, проявление молниевого разряда), так и преднамеренными [1]. Это обусловлено тем, что компоненты РЭА становятся чувствительнее к ЭМВ из-за уменьшения массогабаритных показателей и рабочих напряжений, а также увеличения рабочих частот РЭА. Опасными для РЭА представляются импульсы наносекундного и субнаносекундного диапазонов [2]. Наиболее известными средствами защиты от таких сверхкоротких импульсов (СКИ) являются ограничители напряжения, варисторы, пассивные RC- и LC-фильтры, имеющие ряд недостатков, основными из которых являются малые мощность и быстродействие, а также низкая радиационная стойкость и, как следствие, малый срок службы [3]. Все это затрудняет должную работу РЭА.

В этой связи примечателен подход к защите РЭА, основанный на использовании искажений в витке меандровой микрополосковой линии (МПЛ) [4]. Достоинством предложенного подхода является то, что его реализация может не требовать устройства защиты как такового. Вместо него могут быть использованы уже имеющиеся на печатной плате меандровые линии. Подход основан на разложении СКИ в одном витке меандровой линии на последовательность импульсов меньшей амплитуды (перекрестную наводку на ближнем конце, нечетную и четную моды) за счет обеспечения простых условий, связанных с геометрическими параметрами линии. Так, для выполнения этих условий ранее выполнялась оптимизация структуры эвристическим поиском.

Однако при исследовании более сложных структур меандровых линий (с большим количеством оптимизируемых параметров) для защиты от СКИ, например многокаскадных, может потребоваться много времени. В этой связи необходимо использовать методы глобальной оптимизации, среди которых примечательны генетические алгоритмы (ГА), поскольку они довольно просты в использовании, эффективны для оптимизации и реализованы в системе TALGAT [5]. Задача оптимизации обычно представляется в виде минимизации или максимизации целевой функции, состоящей из одного (однокритериальная оптимизация) или нескольких критериев (многокритериальная оптимизация). Ранее была проведена однокритериальная оптимизация простых структур меандровых МПЛ и линии с лицевой связью по критерию согласования линии с трактом 50 Ом [6]. Однако не было проведено оптимизации по критериям разложения и минимизации амплитуды на выходе линии.

Цель работы – выполнить многокритериальную оптимизацию меандровой МПЛ по критериям равенства интервалов времени между импульсами разложения и минимизации амплитуды на выходе линии. Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи: построить геометрическую модель меандровой МПЛ; сформулировать критерии равенства интервалов времени между импульсами разложения и минимизации амплитуды на выходе линии, а также многокритериальную целевую функцию; выполнить оптимизацию с помощью ГА и анализ полученных данных.

Поперечное сечение и схема соединений меандровой МПЛ

Поперечное сечение витка меандровой МПЛ представлено на рис. 1, *а*, где w и t – ширина и толщина проводников, s – расстояние между проводниками, h – толщина диэлектрической подложки, ε_r – относительная диэлектрическая проницаемость подложки. Неизменяемыми параметрами при моделировании являются t = 452 мкм и h = 540 мкм, а изменяемыми в диапазоне – 10 мкм $\le w \le$ 1000 мкм, 10 мкм $\le s \le$ 1000 мкм, $1 \le \varepsilon_r \le 200$. Схема соединений меандровой МПЛ представлена на рис. 1, *б*. Она состоит из двух параллельных проводников длиной l = 45 мм, соединенных между собой на одном конце. Один из проводников линии соединен с источником импульсных сигналов, представленным на схеме идеальным источником ЭДС E и внутренним сопротивлением $R1$. Другой проводник линии соединен с приёмным устройством, представленным на схеме

сопротивлением $R2$. Значения $R1$ и $R2$ для минимизации отражения сигнала на концах проводников линии приняты равными среднему геометрическому волновых сопротивлений четной и нечетной мод линии.

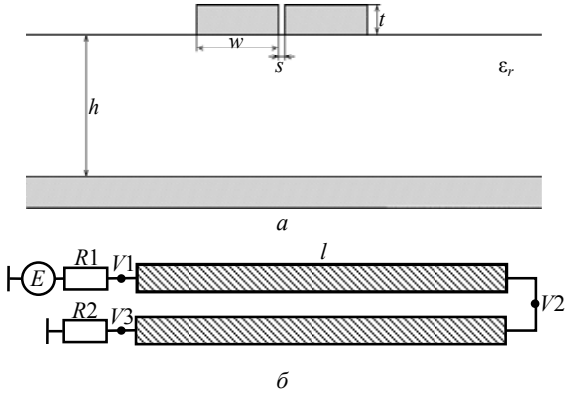


Рис. 1. Поперечное сечение меандровой МПЛ (*а*) и ее схема соединений (*б*)

Для воздействия выбран СКИ в форме трапеции со следующими параметрами: амплитуда ЭДС 1 В, длительность плоской вершины 100 пс, а фронта и спада – по 50 пс.

Формулировка многокритериальной целевой функции

При формулировке многокритериальной целевой функции (F) необходимо привести отдельные критерии к одной задаче минимизации или максимизации. Выполним это, следуя работе [6]. Для определенности далее будем рассматривать минимизацию суммы:

$$F = \sum_i F_i , \qquad (1)$$

где

$$F_i = M_i \frac{f_i}{K_i} , \qquad (2)$$

где для i-го критерия f_i – целевая функция; K_i – нормировочный коэффициент; M_i – весовой коэффициент; i = 1, 2, …, N_C; где N_C – число критериев оптимизации. Нормировочные коэффициенты K_i выбирают равными максимально возможному значению i-й целевой функции так, чтобы величина f_i/K_i стала безразмерной и принимала значения от 0 до 1 в ходе оптимизации. Весовыми коэффициентами M_i задается значимость i-го критерия. Если критерии равнозначны для пользователя, то эти коэффициенты одинаковы и могут задаваться единицами или как

$$M_i = \frac{1}{N_C} , \qquad (3)$$

Первым критерием оптимизации является критерий равенства интервалов времени между импульсами. Он основан на условии разложения сверхкороткого импульса на импульсы меньшей амплитуды и приход импульсов друг за другом через равные интервалы времени [4]:

$$\tau_{max} = 2\tau_{min}, \qquad (4)$$

где τ_{max}, τ_{min} – максимальное и минимальное значения из погонных задержек четной и нечетной мод линии. Так как рассматривается задача минимизации критериев, то критерий равенства интервалов времени между импульсами примет вид

$$\left| \tau_{max} - 2\tau_{min} \right| . \qquad (5)$$

Методом перебора крайних значений диапазона параметров, участвующих в оптимизации, найдено максимально возможное значение выражения (5), которое составило f_{1max}=26,77 нс/м при w=1000 мкм, s=1000 мкм и ε_r=200. Таким образом, можно сформулировать выражения для f_i и K_i:

$$f_1 = \left| \tau_{max} - 2\tau_{min} \right| , K_1 = f_{1max}. \qquad (6)$$

Вторым критерием оптимизации является амплитудный. Для защиты от СКИ актуален анализ формы сигнала $U(t)$ на выходе меандровой МПЛ. Если опасность представляет максимальный уровень сигнала $U(t)$ на выходе меандровой МПЛ, можно сформулировать выражения для f_i и K_i как

$$f_2 = \max|U(t)|, K_2 = \max|E(t)|, \qquad (7)$$

где $E(t)$ – ЭДС источника.

В результате задача многокритериальной оптимизации сформулирована в виде целевой функции

$$F = \frac{\left|\tau_{max} - 2\tau_{min}\right|}{f_{1max}} + \frac{\max(U(t))}{\max(E(t))} . \qquad (8)$$

Результаты для меандровой МПЛ

Простой ГА запускался по 5 раз с числом особей в популяции 30 при количестве поколений 30, 40, 60 и 80. В табл. 1–4 сведены полученные значения τ_{max}, τ_{min}, f_2, U и оптимальных параметров.

Таблица 1

Результаты работы ГА для 30 особей и 30 поколений

Запуск	τ_{max}, нс/м	τ_{min}, нс/м	f_2, нс/м	U, В	w, мкм	s, мкм	ε_r
1	14,50	7,18	0,13	0,211	433,18	41,06	36,90
2	21,25	10,58	0,09	0,209	363,29	48,82	85,28
3	20,08	10,09	0,10	0,207	320,59	48,82	79,04
4	12,57	6,24	0,10	0,208	576,82	37,18	25,19
5	20,84	10,48	0,13	0,211	285,65	48,82	88,40

Таблица 2

Результаты работы ГА для 30 особей и 40 поколений

Запуск	τ_{max}, нс/м	τ_{min}, нс/м	f_2, нс/м	U, В	w, мкм	s, мкм	ε_r
1	22,20	11,14	0,07	0,212	270,11	48,82	102,45
2	22,06	10,96	0,14	0,209	359,41	48,82	92,31
3	19,13	9,61	0,09	0,208	363,29	48,82	68,89
4	24,92	12,47	0,02	0,214	437,05	52,70	111,04
5	11,13	5,69	0,25	0,207	642,82	37,17	18,95

Таблица 3

Результаты работы ГА для 30 особей и 60 поколений

Запуск	τ_{max}, нс/м	τ_{min}, нс/м	f_2, нс/м	U, В	w, мкм	s, мкм	ε_r
1	23,11	11,50	0,12	0,207	316,71	48,82	105,57
2	16,22	8,09	0,05	0,208	417,65	44,94	47,04
3	29,08	14,57	0,05	0,210	336,12	52,71	164,88
4	17,08	8,51	0,07	0,211	343,88	44,94	55,63
5	17,36	8,57	0,22	0,209	437,06	44,94	53,29

Максимальные отклонения значений f_2 и U составили 92 и 3,4% соответственно. Так, при 30 поколениях отклонения значений f_2 и U составили 30,7 и

1,7% соответственно, при 40 – 92 и 3%, при 60 – 77,4 и 2,1%, а при 80 – 91,8 и 3,4%. Такое большое отклонение полученных значений t обусловлено их малыми значениями, близкими к нулю. Так, при подстановке полученных значений τ_{max} и τ_{min} из табл. 1–4 в условие (4), получим практически равные левую и правую части равенства. При этом амплитуда СКИ на выходе меандровой МПЛ при всех полученных оптимальных параметрах не превышает 0,214 В.

Таблица 4

Результаты работы ГА для 30 особей и 80 поколений

Запуск	τ_{max}, нс/м	τ_{min}, нс/м	f_2, нс/м	U, В	w, мкм	s, мкм	ε_r
1	20,60	10,29	0,02	0,208	355,53	48,82	80,6
2	22,45	11,32	0,19	0,212	413,77	52,71	91,53
3	21,58	10,78	0,02	0,207	320,59	48,82	91,53
4	25,13	12,52	0,08	0,212	262,35	48,82	132,89
5	17,70	8,88	0,07	0,214	545,76	48,82	51,73

Для подтверждения корректности работы ГА и сформулированных критериев на рис. 2–5 представлены формы сигнала на выходе меандровой МПЛ с параметрами, полученными при 30, 40, 50, 60 и 80 поколениях на разных запусках.

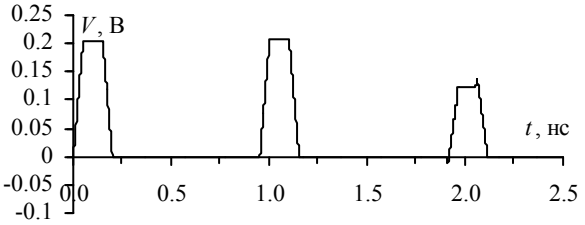


Рис. 2. Форма сигнала в конце меандровой МПЛ с параметрами, полученными при 30 поколениях на 3-м запуске

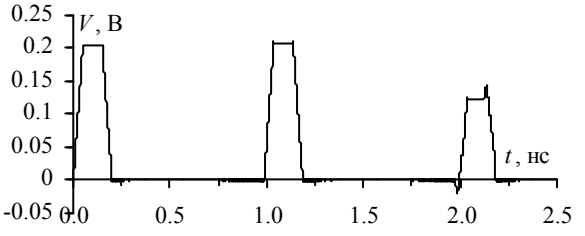


Рис. 3. Форма сигнала в конце меандровой МПЛ с параметрами, полученными при 40 поколениях на 5-м запуске

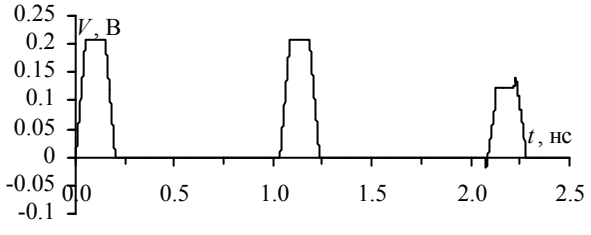


Рис. 4. Форма сигнала в конце меандровой МПЛ с параметрами, полученными при 60 поколениях на 1-м запуске

Из форм сигнала на выходе меандровой МПЛ видно, что СКИ в конце меандровой МПЛ представлен последовательностью из трех импульсов с равными задержками между собой. Таким образом, критерий равенства интервалов времени между импульсами сформулирован корректно. При этом амплитуда сигнала на выходе линии (0,214 В) не превышает 42% от уровня сигнала в начале витка (что близко к ранее полученным результатам из работы [7] , в которой поиск оптимальных параметров выполнялся эвристическим поиском). Из форм сигнала также видно, что третий импульс имеет меньшую амплитуду относительно предыдущих. Это обусловлено тем, что на него накладывается отраженный импульс нечетной моды отрицательной полярности.

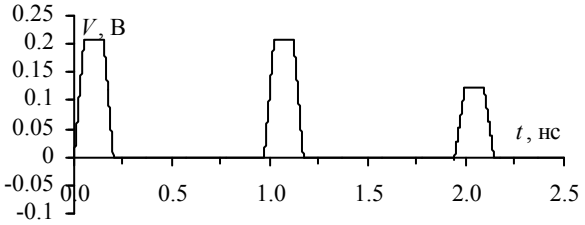


Рис. 5. Форма сигнала в конце меандровой МПЛ с параметрами, полученными при 80 поколениях на 3-м запуске

Заключение

Выполнена многокритериальная оптимизация параметров поперечного сечения витка меандровой МПЛ. Для этого впервые сформулирована целевая функция из двух критериев: равенства интервалов времени между импульсами разложения и минимизации амплитуды. Примечательно, что при малом количестве вычислений (30 особей и 30 поколений) также получены приемлемые результаты. Все полученные посредством ГА параметры поперечного сечения меандровой МПЛ обеспечивают выполнение сформулированных критериев: разложение СКИ в конце линии на последовательность из трех импульсов с равными задержками между собой и минимизацию амплитуды. Получено ослабление СКИ не менее 2,34 раза.

Работа выполнена в рамках гранта Российского фонда фундаментальных исследований 18-37-00339/19 и гранта Президента Российской Федерации МД-2652.2019.9.

Литература

1. Газизов Т.Р. Электромагнитный терроризм на рубеже тысячелетий. – М.: Том. гос. ун-т, 2002. – 206 с.

2. Сахаров К.Ю. Исследование функционирования локальной вычислительной сети в условиях воздействия сверхкоротких электромагнитных импульсов / К.Ю. Сахаров, А.А. Соколов, О.В. Михеев и др. // Технологии ЭМС. – 2006. – № 3(18). – С. 36–45.

3 Gizatullin Z.M. Investigation of the immunity of computer equipment to the power-line electromagnetic interference / Z.M. Gizatullin, R.M. Gizatullin // Journal of Communications Technology and Electronics. – 2016. – No. 5. – P. 546–550.

4. Surovtsev R.S. Possibility of protection against UWB pulses based on a turn of a meander microstrip line / R.S. Surovtsev, A.V. Nosov, A.M. Zabolotsky, T.R. Gazizov // IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility. – 2017. – Vol. 59, No. 6. – P. 1864–1871.

5. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2018611481. TALGAT 2017. Авто-

ры: Т.Р. Газизов, А.О. Мелкозеров, Т.Т. Газизов, С.П. Куксенко, А.М. Заболоцкий и др. Всего 23 чел. Заявка № 2017663209. Дата поступл. 13 декабря 2017 г. Зарег. в Реестре программ для ЭВМ 02.02.2018 г.

6. Малыгин К.П. Однокритериальная оптимизация защитных меандровых линий генетическим алгоритмом / К.П. Малыгин, А.В. Козин, А.В. Носов, Р.С. Суровцев // XIV Междунар. науч.-практ. конф. «Электронные средства и системы управления» (МНПК «ЭСиСУ–2018»). – Томск, Россия, 28–30 ноября 2018. – 298 с.

7. Belousov A.O. Systematic approach to optimization for protection against intentional ultrashort pulses based on multiconductor modal filters / A.O. Belousov, T.R. Gazizov // Complexity. – URL: http://downloads.hindawi.com/journals/complexity/2018. – 2018. – Vol. 2018. – P. 1–15, DOI: 10.1155/2018/5676504

8. Surovtsev R.S. Simple method of protection against UWB pulses based on a turn of meander microstrip line / R.S. Surovtsev, A.V. Nosov, A.M. Zabolotsky // 16th International Conference of Young Specialists on Micro / Nanotechnologies and Electron Devices. – June 29 – July 3, 2015. – P. 175–177.

Малыгин Константин Петрович
Магистрант ТУСУРа
Эл. почта: malyginkp@gmail.com

Носов Александр Вячеславович
Инженер, м.н.с. НИЛ «БЭМС РЭС»
Эл. почта: alexns2094@gmail.com

Суровцев Роман Сергеевич
Канд. техн. наук, м.н.с. НИЛ «БЭМС РЭС»
Эл. почта: surovtsevrs@gmail.com

УДК 621.396.41

А.М. Лакоза, В.П. Костелецкий, Е.С. Жечев, А.М. Заболоцкий

Исследование характеристик помехоподавляющих фильтров с различной компоновкой индуктивных элементов

Представлены измерения частотных характеристик и анализ реализованных топологий фильтров. Выделены ключевые особенности помехоподавляющих фильтров рассматриваемых конфигураций.
Ключевые слова: синфазная помеха, дифференциальная помеха, синфазный дроссель, гибридный дроссель, помехоподавляющий фильтр.

В настоящее время существует тенденция миниатюризации радиоэлектронной аппаратуры, вследствии чего увеличивается чувствительность оборудования по отношению к кондуктивным помехам, помимо этого, для повышения эффективности преобразователей источников вторичного питания увеличивают диапазон рабочих частот, что накладывает более сложные требования для обеспечения электромагнитной совместимости. Одним из эффективных методов защиты является использование помехоподавляющих фильтров, главным недостатком которых являются достаточно большие габариты, что особенно актуально при работе с большими токами. Необходим поиск решений для уменьшения габаритов фильтрующего устройства. Рассмотрены варианты компоновки, позволяющие уменьшить количество индуктивных элементов и габариты фильтра.

Цель данной работы – исследовать варианты компоновки индуктивных элементов, позволяющие уменьшить количество индуктивных элементов и габариты помехоподавляющего фильтра с сохранением требуемой селективности фильтрующего устройства при синфазных и дифференциальных помеховых воздействий.

Классический вариант

В данной конструкции индуктивные компоненты фильтра расположены независимо друг от друга: на входе схемы установлен синфазный дроссель, представляющий собой две зеркально намотанные индуктивности на общем сердечнике L_{CM}, включенные в цепь фильтра, как показано на рис. 1 [1].

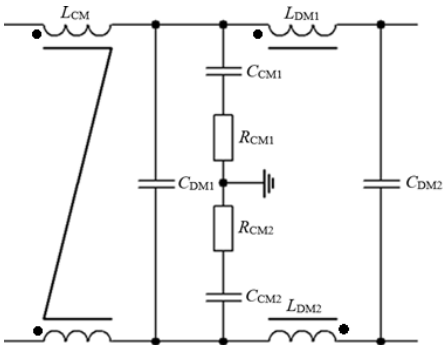


Рис. 1. Принципиальная схема фильтра на основе классической компоновки

Измерения *S*-параметров изготовленных дросселей и макетов фильтров, реализованных на их основе, выполнены осциллографом Keysight EDUX1002G. Измерены зависимости коэффициента передачи синфазного дросселя L_{CM} от частоты в синфазном и дифференциальном режимах (рис. 2).

Видно, что в синфазном режиме крутизна спада частотной характеристики составляет 20 дБ/дек, частота среза 50 кГц, а в дифференциальном режиме – 20 дБ/дек и 12,5 МГц. Дифференциальные индуктивности L_{DM1} и L_{DM2} расположены симметрично относительно продольной оси фильтра и выполнены

на отдельных ферритовых сердечниках (см. рис. 1) [2]. На рис. 3 представлена частотная зависимость коэффициента передачи дифференциальных дросселей L_{DM1} и L_{DM2}.

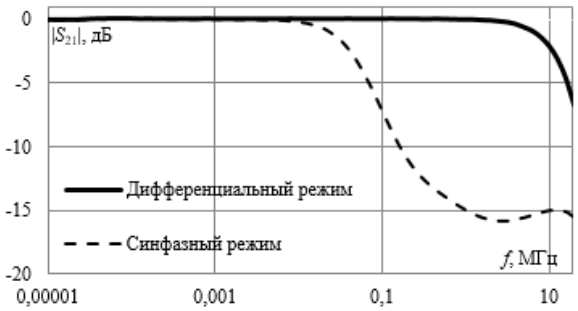


Рис. 2. Частотные зависимости $|S_{21}|$ синфазного дросселя L_{CM}

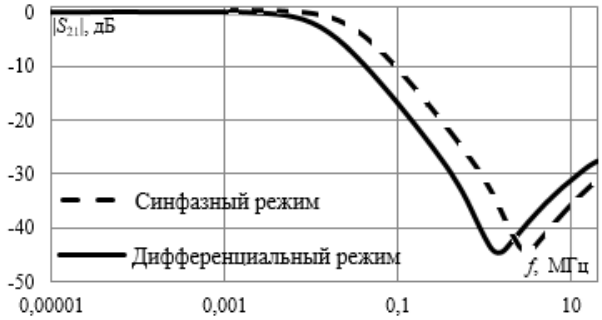


Рис. 3. Частотные зависимости $|S_{21}|$ дифференциальных дросселей L_{DM1}/L_{DM2}

Крутизна спада частотной характеристики и частота среза в дифференциальном режиме одинаковы для обоих дросселей и составляют 20 дБ/дек и 13 кГц. Принципиальная схема помехоподавляющего фильтра на основе классического варианта компоновки индуктивностей подразумевает наличие конструктивно заложенной взаимной индуктивности M только между обмотками синфазного дросселя (1):

$$M = k\sqrt{L_1 L_2}\ . \qquad (1)$$

При соблюдении определенных условий монтажа дифференциальные дроссели расположены на расстоянии друг от друга, что способствует уменьшению нежелательной взаимной индуктивности. На рис. 4 изображен готовый макет фильтра.

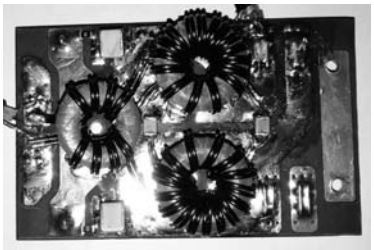


Рис. 4. Макет помехоподавляющего фильтра с классической компоновкой

На рис. 5 изображены частотные зависимости коэффициента передачи для синфазного и дифференциального режимов работы помехоподавляющего фильтра с классической компоновкой индуктивных элементов.

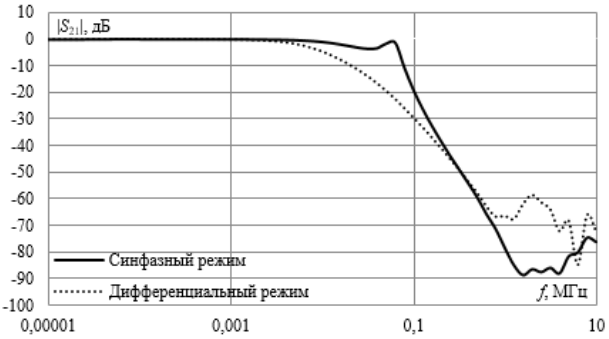


Рис. 5. Частотные зависимости $|S_{21}|$ в различных режимах работы для фильтра классической компоновки

Частота среза и крутизна спада частотной характеристики фильтра при воздействии синфазной помехи составляют 63 кГц и 60 дБ/дек, а при дифференциальной – 7,1 кГц и 40 дБ/дек.

Промежуточный вариант

Отличается от классической компоновки исполнением дифференциального дросселя, который выполнен в виде двух связанных индуктивностей на общем ферритовом сердечнике L_{DM1} (рис. 6). Данный способ размещения индуктивностей позволяет уменьшить объем занимаемого пространства и количество используемых радиоэлектронных компонентов.

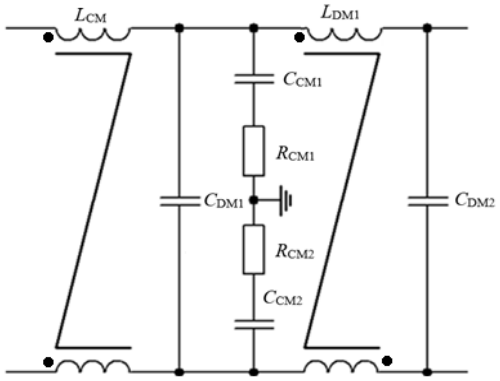


Рис. 6. Принципиальная схема фильтра на основе промежуточной компоновки

На рис. 7 изображены измеренные частотные зависимости коэффициента передачи связанных индуктивностей L_{DM1} для синфазного и дифференциального режимов.

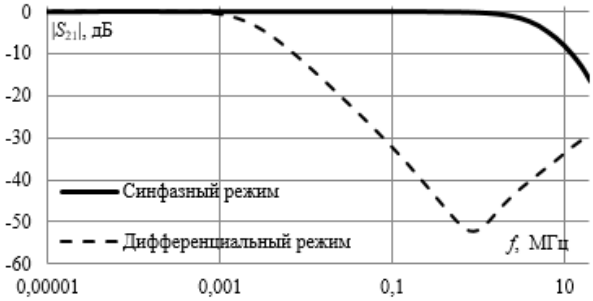


Рис. 7. Частотные зависимости $|S_{21}|$ сдвоенного дросселя L_{DM1}

Видно, что крутизна спада частотной характеристики в дифференциальном режиме составила

20 дБ/дек, а частота среза – 2,5 кГц, в синфазном режиме – 20 дБ/дек и 10 кГц.

Принципиальная схема помехоподавляющего фильтра на основе промежуточного варианта компоновки индуктивных элементов, помимо взаимной индуктивности между обмотками дросселя L_{CM}, также предполагает наличие взаимной индуктивности между обмотками дифференциального дросселя L_{DM1}, что дает 4-кратное увеличение значения индуктивности в дифференциальном режиме работы в соответствии с (2):

$$L_{DM1} = 2(L_1 + M) = 4L_1 . \quad (2)$$

Готовый макет фильтра с промежуточной компоновкой индуктивных элементов изображен на рис. 8.

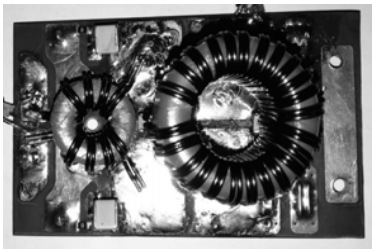


Рис. 8. Макет помехоподавляющего фильтра с промежуточной компоновкой индуктивностей

На рис. 9 представлены частотные зависимости коэффициента передачи для различных режимов работы защитного фильтра с промежуточной компоновкой индуктивных элементов. Для синфазного режима крутизна спада 40 дБ/дек и частота среза 54 кГц, а для дифференциального – 40 дБ/дек и 2,2 кГц.

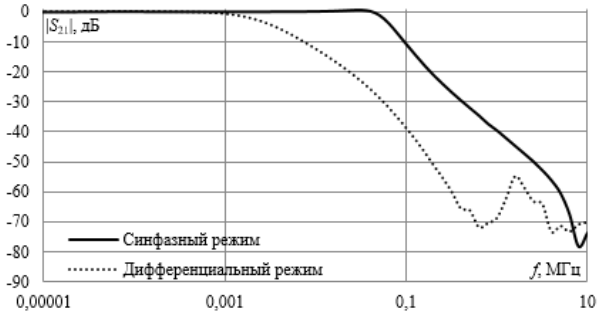


Рис. 9. Частотные зависимости $|S_{21}|$ в синфазном и дифференциальном режимах для фильтра промежуточной компоновки

В синфазном режиме для данной конфигурации наблюдается уменьшение крутизны наклона характеристики по сравнению с фильтром классической компоновки, что обусловлено изменением порядка фильтра в эквивалентных схемах включения в синфазном и дифференциальном режимах [3].

Комбинированный вариант

Особенность данной компоновки заключается в замене индуктивных элементов единой конструкцией синфазно-дифференциального дросселя. Данная конструкция обеспечивает изготовление синфазной и дифференциальной катушек в рамках одного радиоэлектронного компонента, выполненного на связанных сердечниках L_{CDM}, значительно уменьшая количество используемых компонентов [4]. На рис. 10 изображены частотные зависимости коэффициента передачи комбинированного дросселя L_{CDM}.

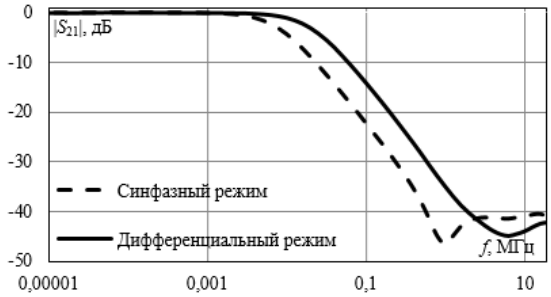


Рис. 10. Частотные зависимости $|S_{21}|$ комбинированного дросселя L_{CDM}

Крутизна спада составляет 20 дБ/дек в обоих режимах. Частота среза в синфазном режиме составляет 8,5 кГц, а в дифференциальном – 19 кГц. Принципиальная схема фильтра с комбинированной компоновкой индуктивных элементов изображена на рис. 11.

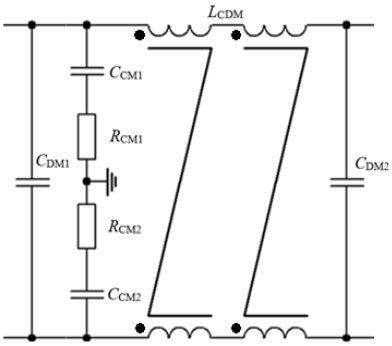


Рис. 11. Принципиальная схема фильтра на основе комбинированной компоновки

В случае применения варианта компоновки индуктивностей на связанных сердечниках L_{CDM} для реализации помехоподавляющего фильтра из-за конструктивных особенностей присутствуют паразитные взаимные индуктивности. Готовый макет фильтра с комбинированной компоновкой индуктивных элементов представлен на рис. 12.

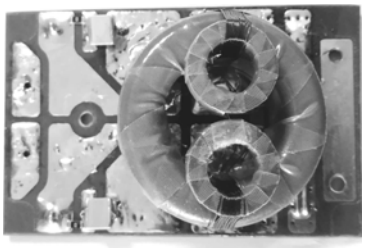


Рис. 12. Макет помехоподавляющего фильтра с комбинированной компоновкой индуктивностей

На рис. 13 представлены частотные зависимости коэффициента передачи для защитного фильтра с комбинированной компоновкой индуктивных элементов.

Частота среза и крутизна характеристики при прохождении синфазной помехи составляют 8 кГц и 20 дБ/дек. При прохождении дифференциальной

помехи – 33 кГц и 40 дБ/дек. Уменьшение крутизны наклона характеристики в синфазном режиме работы относительно промежуточного варианта компоновки обусловливается изменением порядка фильтра в эквивалентных схемах включения для синфазного и дифференциального режимов.

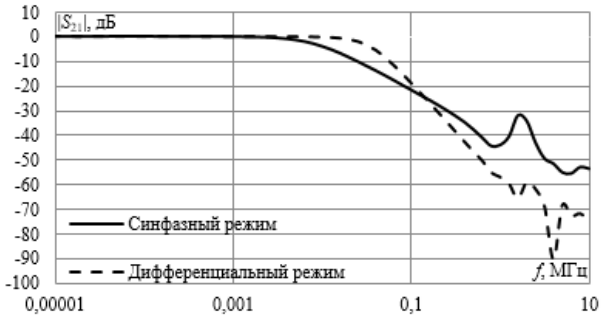


Рис. 13. Частотные зависимости $|S_{21}|$ для синфазного и дифференциального режимов фильтра комбинированной компоновки индуктивных элементов

Анализ характеристик фильтров

Выполнено сравнение частотных характеристик изготовленных макетов фильтров в синфазном режиме работы (рис. 14. *а*) и в дифференциальном (рис. 14. *б*).

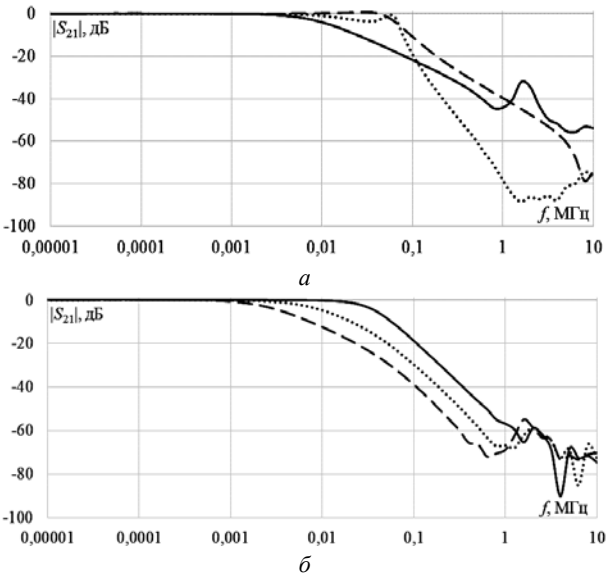


Рис. 14. Частотные зависимости $|S_{21}|$ для синфазного (*а*) и дифференциального (*б*) режимов фильтров классической (····), промежуточной (- - -) и комбинированной (——) компоновок

Выявлено, что в синфазном режиме оптимальные габариты и необходимые *S*-параметры обеспечивает фильтр с классической компоновкой индуктивностей, с частотой среза 63 кГц и крутизной спада частотной характеристики 60 дБ/дек. Фильтр с промежуточной компоновкой индуктивных элементов обладает более низкой частотой среза 54 кГц и обеспечивает крутизну спада частотной характеристики 40 дБ/дек. Фильтр с комбинированной компоновкой обладает самой низкой частотой среза среди рассматриваемых фильтров – 8 кГц при крутизне спада частотной характеристики 20 дБ/дек.

В дифференциальном режиме рассмотренные помехоподавляющие фильтры обладают одинаковой крутизной спада частотной характеристики 40 дБ/дек. Наименьшей частотой среза обладает фильтр с промежуточной компоновкой индуктивных элементов – около 2,2 кГц. Наибольшую частоту среза в 33 кГц обеспечивает фильтр с комбинированной компоновкой индуктивных элементов. Фильтр с классической компоновкой индуктивных элементов показал промежуточное значение частоты среза в 7,1 кГц.

Фильтр с комбинированной компоновкой индуктивных элементов обладает несколько худшими параметрами при наименьших массогабаритных показателях и рассматривается как альтернатива традиционным методов реализации помехоподавляющих защитных фильтров [5, 6].

Заключение

В результате исследования рассмотрены ключевые особенности реализации помехоподавляющих фильтров с вариативной компоновкой индуктивных элементов. Измерены и проанализированы частотные характеристики. Реализованы макеты фильтров.

Работа выполнена в рамках ФЦП ИР, соглашение № 14.574.21.0172, 2017–2019 гг. при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации по проекту RFMEFI57417X0172.

Литература

1. Zhechev Y.S. Electromagnetic interference filter for spacecraft power bus / Y.S. Zhechev, V.P. Kosteletskii, A.M. Zabolotsky, T.R. Gazizov // Journal of Physics: Conference Series (JPCS). – 2019.

2. Berman M. All about EMI filters. – San Diego, CA, USA, 2008. – 3 p.

3. Richard L.O. EMI filter design / L.O. Richard, M.P. Timothy. CRC Press, 2012. – 344 p.

4. Nan L. A common mode and differential mode integrated EMI filter / L. Nan, Y. Yugang // 2006 CES/IEEE 5th International Power Electronics and Motion Control Conference. – Shanghai, China, 2006. – 5 p.

5. Konty J-L. High-Frequency Model of the Coupled Inductors Used in EMI Filters / J.-L. Kotny, X. Margueron, N. Idir // IEEE Transactions on Power Electronics, Institute of Electrical and Electronics Engineers // Villeneuve d'Ascq Cedex, France. – 2012. – Vol. 27 (6). – P. 2805–2812.

6. Edwin W. Conducted EMI Reduction by Means of Hybrid Common Chokes // Richtek Technology Corporation. – Hsinchu,Taiwan, R.O.C., 2014. – 9 p.

Лакоза Александр Михайлович
Магистрант каф. ТУ ТУСУРа
Эл. почта: alexandrlakoza@mail.ru

Костелецкий Валерий Павлович
Аспирант каф. ТУ ТУСУРа
Эл. почта: kosteletskiy@tu.tusur.ru

Жечев Евгений Сергеевич
Аспирант каф. ТУ ТУСУРа
Эл. почта: zhechev75@gmail.com

Заболоцкий Александр Михайлович
Д-р техн. наук, профессор каф. ТУ ТУСУРа
Эл. почта: zabolotsky_am@ru

УДК 621.3.01

Е.А. Сердюк, А.В. Носов, Р.С. Суровцев, Т.Р. Газизов

Аналитические математические модели для вычисления временного отклика в витке меандровой линии

Получены аналитические математические модели для вычисления временного отклика на воздействие напряжения произвольной формы в витке меандровой линии задержки. Показано совпадение результатов по полученным моделям и в частотной области. Результаты открывают широкие возможности для ускорения анализа и оптимизации новых устройств защиты на основе меандровых линий.
Ключевые слова: четная мода, нечетная мода, сверхкороткий импульс.

Такие устройства, как меандровые линии задержки, являются неотъемлемым компонентом печатных плат современных устройств. Их традиционное назначение заключается в задержке импульсных сигналов, приходящих из разных точек платы при их синхронизации в точке приема. Кроме того, устройства на основе меандров нашли применение в виде приемных антенн [1], дросселей [2], многослойных конденсаторов [3], устройств фильтрации [4], устройств коррекции группового времени запаздывания и фазовой коррекции [5].

Большинство исследований меандровых линий задержки направлено на минимизацию искажений полезных сигналов, возникающих из-за наводок. Поскольку в первом приближении меандровая линия может быть представлена набором пар связанных линий, то для анализа параметров меандровой линии применяются численные методы во временной и частотной областях, которые разработаны для связанных линий [6–12]. Например, для вычисления задержки в меандровых линиях печатных плат вычислительных систем применен простой, но достаточно точный метод моментов (МоМ) [7]. Применены три численных метода (конечных разностей во временной области, конечных элементов и моментов) для моделирования меандровой линии задержки с хорошим согласованием полученных результатов [8]. Выполнено моделирование линий задержки с использованием метода эквивалентной схемы из частичных элементов и метода конечных разностей во временной области [9], где также показано хорошее согласование результатов. Несмотря на универсальность численных методов, их применение не всегда целесообразно. Например, в ряде частных случаев (при отсутствии потерь и дисперсии), когда вычислительные затраты на вычисление численным методом высоки (при оптимизации), целесообразно использовать аналитические математические модели для быстрой оценки с приемлемой точностью.

Одним из новых применений меандровых линий стала выявленная возможность защиты от сверхкороткого импульса за счет его разложения на импульсы меньшей амплитуды: на два основных импульса в воздушной линии [13] и три – в микрополосковой линии [14]. Так, сигнал в конце меандровой линии в воздушном диэлектрическом заполнении представлен последовательностью из двух основных импульсов: перекрестной наводки и основного сигнала (сумма нечетной и четной мод). В отмеченных работах анализ выполняется в частотной области на основе алгоритмических математических моделей. Между тем применение таких моделей довольно затратно, особенно если требуется оптимизация для выравнивания и минимизации амплитуды импульсов разложения [15]. Поэтому актуально получение простых аналитических моделей для быстрой и априорной оценки и выравнивания амплитуд импульсов после разложения в конце витка меандровой линии. Первым шагом для этого является получение моделей для вычисления временного отклика в аналитическом виде.

Цель работы – получение универсальных аналитических моделей для вычисления временного отклика в витке меандровой линии задержки. Для ее достижения необходимо решить следующие задачи: сформулировать выражения, определяющие амплитуды и форму каждой составляющей сигнала в линии; выполнить их проверку.

Исходные данные

Схема соединений исследуемой структуры представлена на рис. 1. Она состоит из двух параллельных проводников длиной l, соединенных между собой на одном конце. Один из проводников линии соединен с источником импульсных сигналов, представленным на схеме идеальным источником ЭДС E и внутренней проводимостью Y_0. Другой проводник линии соединен с приёмным устройством, представленным на схеме проводимостью Y_0.

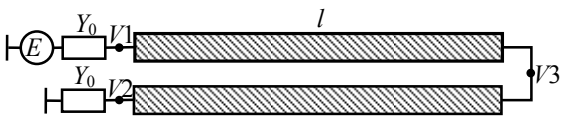


Рис. 1. Схема соединений витка меандровой линии задержки

Поскольку сигнал в конце линии представляет собой последовательность основных импульсов, то сначала нужно аналитически получить амплитуду каждого из импульсов, для чего удобно воспользоваться аналитическими моделями для одного отрезка симметричной связанной линии передачи (рис. 2) [16]. Для ясности дальнейшего изложения приведем эти модели.

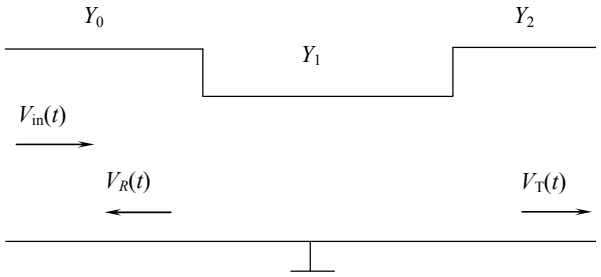


Рис. 2. Эквивалентная схема одного отрезка линии передачи с оконечными нагрузками

Тогда составляющая отклика на дальнем конце структуры, учитывающая проходящую волну,

$$V_0(t)=\frac{2Y_0}{Y_0+Y}\cdot\frac{2Y_1}{Y_1+Y_2}V_{\text{in}}(t-\tau_1), \quad (1)$$

составляющая на ближнем конце структуры, учитывающая отражение от начала отрезка линии,

$$V_1'(t)=\frac{Y_0-Y_1}{Y_0+Y_1}V_{\text{in}}(t), \quad (2)$$

а составляющая на ближнем конце структуры, учитывающая отражение от конца отрезка линии,

$$V_1''(t)=\frac{2Y_0}{Y_0+Y_1}\cdot\frac{2Y_1}{Y_0+Y_1}\cdot\frac{Y_1-Y_2}{Y_2+Y_1}V_{\text{in}}\left(t-2\tau_1\right), \quad (3)$$

где Y_0, Y_1, Y_2 – характеристические адмиттансы отрезков линии передачи; а τ_1 – время распространения сигнала в отрезке линии передачи.

Следующие выражения при задании значения k_{ref} (числа учитываемых отражений) позволяют вычислить отклик на дальнем конце линии с учётом составляющих, испытавших четное число отражений, а также отклик на ближнем конце структуры с учётом составляющих, испытавших нечетное число отражений:

$$V_T(t)=V_0(t)+\sum_{k=1}^{k_{\text{ref}}/2}V_{\text{out}K}(t), \quad (4)$$

$$V_R(t)=V_1'\left(t\right)+V_1''\left(t\right)+\sum_{k=1}^{(k_{\text{ref}}-1)/2}V_{\text{ref}\,K}(t), \quad (5)$$

где

$$V_{\text{out}\,K}(t)=\frac{2Y_0}{Y_0+Y_1}\cdot\frac{2Y_1}{Y_1+Y_2}V_{\text{in}}(t-(2k+1)\tau_1)\prod_{i=1}^{k}\frac{Y_1-Y_2}{Y_1+Y_2}\cdot\frac{Y_1-Y_0}{Y_0+Y_1},$$

$$V_{\text{ref}\,K}(t)=\frac{2Y_0}{Y_0+Y_1}\cdot\frac{2Y_1}{Y_0+Y_1}\cdot\frac{Y_1-Y_2}{Y_1+Y_2}\times$$

$$\times V_{\text{in}}(t-2(k+1)\tau_1)\prod_{i=1}^{k}\frac{Y_1-Y_2}{Y_1+Y_2}\cdot\frac{Y_1-Y_0}{Y_0+Y_1}.$$

Приведенные выражения (1)–(5) для одиночной линии применяются для связанной, если их записать отдельно, заменив у Y_1 и τ_1 индекс «1» на индексы «*e*» и «*o*» для четной и нечетной мод соответственно.

При возбуждении активного проводника линии сигналом $V_{\text{in}}(t)$, эквивалентным половине ЭДС, из компонент отклика для чётной и нечётной мод можно получить отклики на каждом из концов линии:

$$V_1(t)=\frac{1}{2}\left[V_R^e(t)+V_R^o(t)\right], \quad (6)$$

$$V_2(t)=\frac{1}{2}\left[V_R^e(t)-V_R^o(t)\right], \quad (7)$$

$$V_3(t)=\frac{1}{2}\left[V_T^e(t)+V_T^o(t)\right], \quad (8)$$

$$V_4(t)=\frac{1}{2}\left[V_T^e(t)-V_T^o(t)\right], \quad (9)$$

где $V_1(t)$ и $V_3(t)$ – отклики в начале и конце активного проводника, а $V_2(t)$ и $V_4(t)$ – пассивного. Важно отметить, что выражения (16)–(19) применимы только для симметричной и симметрично нагруженной связанной линии.

Аналитические выражения для вычисления временного отклика в витке меандровой линии

Отметим, что структура на рис. 1 по существу является частным случаем связанной линии, закороченной на дальнем конце. Тогда получим проводимость нагрузки (на рис. 2 и в (1)–(5)) для нечетной моды $Y_2=\infty$, а для четной – $Y_2=0$. Тогда на дальнем конце коэффициенты отражения и передачи нечетной моды – $\Gamma=-1$, $K=0$, а четной – $\Gamma=1$, $K=2$ [17]. Поэтому запись (1)–(5) для мод значительно упростится. Тогда, используя (6)–(9), получим конечные выражения для расчета откликов в узлах $V1$, $V2$, $V3$:

$$V_1(t)=-\frac{V_{\text{in}}(t)}{2}\left(\frac{(Y_e-Y_0)}{(Y_e+Y_0)}-\frac{(Y_o-Y_0)}{(Y_o+Y_0)}\right)+2Y_0\left(\frac{Y_eV_{\text{in}}(t-2l\tau_e)}{(Y_e+Y_0)^2}-\right.$$

$$\left.-\frac{Y_oV_{\text{in}}(t-2l\tau_o)}{(Y_o+Y_0)^2}\right)+2Y_eY_0\sum_{i=2}^{k}(-1)^{i+1}V_{\text{in}}(t-2l\tau_ei)(Y_e+Y_0)^{-(1+i)}\times$$

$$\times(Y_0-Y_e)^{i-1}-2Y_oY_0\sum_{i=2}^{k}V_{\text{in}}(t-2l\tau_oi)(Y_o+Y_0)^{-(1+i)}(Y_0-Y_o)^{i-1}, \quad (10)$$

$$V_2(t)=-\frac{V_{\text{in}}(t)}{2}\left(\frac{(Y_e-Y_0)}{(Y_e+Y_0)}-\frac{(Y_o-Y_0)}{(Y_o+Y_0)}\right)+2Y_0\left(\frac{Y_eV_{\text{in}}(t-2l\tau_e)}{(Y_e+Y_0)^2}+\right.$$

$$\left.+\frac{Y_oV_{\text{in}}(t-2l\tau_o)}{(Y_o+Y_0)^2}\right)+2Y_eY_0\sum_{i=2}^{k}(-1)^{i+1}V_{\text{in}}(t-2l\tau_ei)(Y_e+Y_0)^{-(1+i)}\times$$

$$\times(Y_0-Y_e)^{i-1}+2Y_oY_0\sum_{i=2}^{k}V_{\text{in}}(t-2l\tau_oi)(Y_o+Y_0)^{-(1+i)}(Y_0-Y_o)^{i-1}, \quad (11)$$

$$V_3(t)=V4(t)=\frac{2Y_0V_{\text{in}}(t-l\tau_e)}{(Y_e+Y_0)}+2Y_0\sum_{i=2}^{k}(-1)^{i+1}V_{\text{in}}(t-l\tau_e(2i-1))\times$$

$$\times(Y_e+Y_0)^{-i}(Y_0-Y_e)^{i-1}. \quad (12)$$

Для проверки выражений (10)–(12) вычислен временной отклик в узлах $V1$, $V2$, $V3$ на воздействие импульсного сигнала в системе TALGAT (рис. 3) [18]. Исходные параметры поперечного сечения линии, генератора и нагрузки взяты из [14]. Полученные результаты полностью совпали.

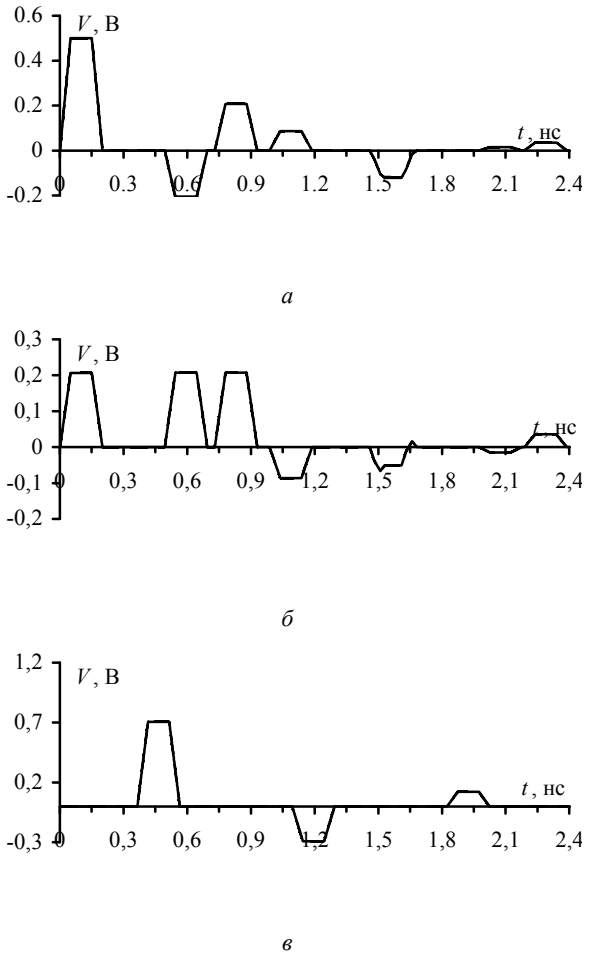


Рис. 3. Форма сигнала в узлах *V*1 (*а*), *V*2 (*б*) и *V*3 (*в*) схемы из рис. 1, вычисленные с помощью выражений (10)–(12) (– –) и в TALGAT (—) (графики совпадают)

Заключение

Получены аналитические модели для вычисления отклика на импульсное воздействие в витке меандровой линии задержки. Выполнена их проверка. Полученные модели позволят вывести универсальные условия равенства амплитуд импульсов разложения при прохождении СКИ по витку меандровой линии задержки. Это позволит ускоренно выполнить оптимизацию без вычисления отклика.

Работа выполнена в рамках гранта Российского фонда фундаментальных исследований № 18-37-00339.

Литература

1. Misman D. Design of planar meander line antennaи/ D. Misman, M.Z.A. Abd. Aziz; M.N. Husain, P.J. Soh // Proc. of 2009 3rd European Conference on Antennas and Propagation. – 23–27 March 2009. – P. 2420–2424.

2. Acuña E. Design of meander line inductors on Printed circuit boards / E. Acuña, J. Rodriguez, J. Obelleiro Fernando // International Journal of RF and Microwave Computer Aided Engineering. – 2001. – Vol. 11. – P. 219–230.

3. Wang X.C. Folded feedthrough multilayer ceramic capacitor EMI filter / X.C. Wang, Y.Y. Sun, J.H. Zhu, Y.H. Lou, W.-Z. Lu // IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility. – June 2017. – Vol. 59, No. 3. – P. 996–999.

4. Shlepnev Y. Measurement-Assisted Electromagnetic Extraction of Interconnect Parameters on Low-Cost FR-4 boards for 6-20 Gb/sec Applications / Y. Shlepnev, A. Neves, T. Dogostino, S. McMorrow // Proc. of the DesignCon 2009. – Santa Clara, California, 2009.

5. Zhang Q. Design of dispersive delay structures (DDSs) formed by coupled c-sections using predistortion With space mapping / Q. Zhang, J.W. Bandler, C. Caloz // IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques. – 2013. – Vol. 18, No. 4. – P. 4040–4051.

6. Rubin B.J., Singh B. Study of meander line delay in circuit boards // IEEE Trans. on Microwave Theory and Techniques, 2000. – Vol. 48. – P. 1452–1460.

7. Ramahi O.M. Full-wave analysis of delay lines / O.M. Ramahi, B. Archambeault // Proc. of EMC Zurich. – 2001. – P. 537–539.

8. Bhobe A.U. Meander delay line challenge problems: a comparison using FDTD, FEM and MoM / A.U. Bhobe, C. Lolloway, M. Piket-May // Int. Symposium on EMC. – 2001. – P. 805–810.

9. Archambeault B. Using PEEC and FDTD to solve the challenge delay line problem / B. Archambeault, A. Roden, O. Ramahi // IEEE EMC Symposium. – Montreal, Canada, 2001. – Vol. 2. – P. 1–4.

10. Wu R.-B. Laddering Wave in Serpentine Delay Line / R.-B. Wu, F.-L. Chao // IEEE Transactions on components, packaging, and manufacturing technology. – 1995. – Part B. – Vol. 18, No. 4. – P. 644–650.

11. Kim G. TDR/TDT Analysis by Crosstalk in Single and Differential Meander Delay Lines for High Speed PCB application / G. Kim, D.G. Kam, J. Kim // IEEE Int. Symp. on Electromagnetic Comp, Portland, USA. – 2006. – Vol. 3. – P. 657–662.

12. Sudo T. Experimental Characterization and Numerical Modeling Approach of Meander Delay Lines / T. Sudo, J. Kudo, Y. Ko // IEEE International EMC Symposium. – Minneapolis, 2002. – Vol. 2. – P. 711–715.

13. Surovtsev R.S. Pulse Decomposition in the Turn of Meander Line as a New Concept of Protection against UWB Pulses / R.S. Surovtsev, T.R. Gazizov, A.M. Zabolotsky // 2015 International Siberian Conference on Control and Communications (SIBCON), Omsk, Russian Federation. – 2015. – P. 1–6.

14. Surovtsev R.S. Simple Method of Protection against UWB Pulses Based on a Turn of Meander Microstrip Line / R.S. Surovtsev, A.V. Nosov, A.M. Zabolotsky // 16th International Conference of Young Specialists on Micro / Nanotechnologies and Electron Devices, June 29 – July 3 2015. – P. 175–177.

15. Nosov A.V. Parametric Optimization of Protective Meander Line Turn in Air Filling by Genetic Algorithm / A.V. Nosov, R.S. Surovtsev, T.R. Gazizov, T.T. Gazizov // Proc. of IEEE 2017 International multi-conference on engineering, computer and information sciences. – Novosibirsk, 2017. – P. 453– 458.

16. Леонтьев Н.А. Анализ временного отклика в межсоединениях быстродействующих радиоэлектронных схем: дис. ... канд. техн. наук. – Томск: ТУСУР, 2000.

17. Park S. Analytical Approach for Crosstalk Characterization of Multiconductor Transmission Lines Using Mode Decomposition Technique in the Time Domain / S. Park, F. Xiao, Y. Kami // IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility. – May 2010. – Vol. 52, Iss. 2. – P. 436–446.

18. Куксенко С.П. Новые возможности системы моделирования электромагнитной совместимости TALGAT / С.П. Куксенко, А.М, Заболоцкий, А.О. Мелкозеров, Т.Р. Газизов // Доклады ТУСУР. – 2015. – № 2(36). – С. 45–50.

Сердюк Екатерина Анатольевна
Магистрант каф. ТУ ТУСУРа
Эл. почта: serduk.10@mail.ru

Носов Александр Вячеславович
Канд. техн. наук, ассистент каф. ТУ ТУСУРа
Эл. почта: alexns2094@gmail.com

Суровцев Роман Сергеевич
Канд. техн. наук, доцент ТУ ТУСУРа
Эл. почта: surovtsevrs@gmail.com

Газизов Тальгат Рашитович
Д-р техн. наук, профессор каф. ТУ ТУСУРа
Эл. почта: talgat@tu.tusur.ru

Секция 13

АВТОМАТИЗАЦИЯ И ОПТИМИЗАЦИЯ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ И ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ

*Председатель секции – **Кориков Анатолий Михайлович,** д-р техн. наук, профессор, зав. каф. АСУ*

УДК 621.396.41

Н.А. Афанасьев, И.А. Тутов

Автоматическое поддержание выбранного тока сварки за счет регулирования скорости подачи наплавочной проволоки

Предложено усовершенствование автоматизированной системы управления станком наплавки пятников железнодорожных вагонов в виде внедрения системы автоматического поддержания выбранного тока сварки за счет регулирования скорости подачи наплавочной проволоки. Актуальность разработки обусловлена тем, что в вагонных депо необходимо внедрять более эффективные методы ремонта, направленные на увеличение производительности и качества наплавки пятников.

Ключевые слова: система автоматического регулирования, сварка, наплавка, ПИД-регулятор, проволока.

Одна из причин простоя вагонов – износ пятника, располагающегося на тележке вагона и находящегося в условиях сухого трения при наличии высоких контактных давлений и динамичного воздействия при обеспечении прохождения кривых участков пути [1].

Ремонт вагонных узлов осуществляется в вагонных ремонтных депо. Ремонт деталей наплавкой наиболее экономичный, не требует сложного оборудования и прост при выполнении технологического процесса.

Актуальность

Длина сварочной дуги – промежуток между электродом и деталью, в котором происходит электродуговой разряд. От параметров дуги зависят интенсивность прогрева поверхности и другие качественные показатели. Увеличение дуги вызвано изменением расстояния между наконечником стержня и свариваемой поверхностью. Так, например, изношенная поверхность пятника может содержать множественные углубления или выбоины. Из-за увеличения дуги электрический разряд начинает удлиняться, теряя свою плотность. При этом сварочный ток уменьшается, равномерность струи расплавленного металла проволоки нарушается, и, как следствие, качество шва падает.

В таком случае оператору станка приходится увеличивать амперные характеристики при удлинении дуги, чтобы обеспечить высокое качество наплавки выпускаемых изделий. Оператор регулирует силу тока путем изменения скорости подачи проволоки, то есть он постоянно вынужден следить за сварным швом. Для уменьшения нагрузки на оператора и увеличения качества шва было разработано устройство, которое предназначено для поддержания выбранного режима сварки за счет автоматического регулирования скорости подачи проволоки.

Получение математической модели объекта

Для определения передаточной функции (ПФ) объекта была задана максимальная скорость подачи проволоки, для надёжного возбуждения дуги установлено напряжение 70 В [2]. По измеренным параметрам был построен график переходного процесса (рис. 1). Значения зафиксированы с помощью модуля аналогового ввода с быстрыми входами ОВЕН МВ110.

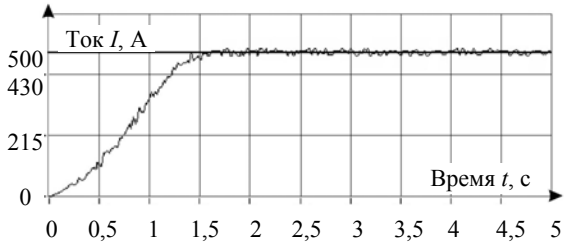


Рис. 1. График зависимости сварочного тока от времени

Для определения ПФ воспользуемся графическим методом. Проведем касательную к данной кривой в точке перегиба П и отметим два отрезка времени *t*, *T* на рис. 2.

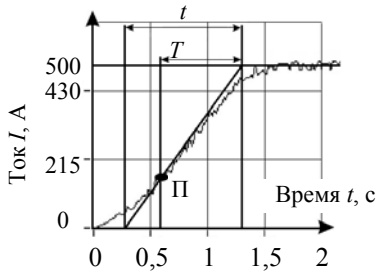


Рис. 2. Графический метод определения ПФ

Динамику апериодического звена второго порядка опишем дифференциальным уравнением второго порядка вида (1):

$$T_2^2 \cdot \frac{d^2 y(t)}{dt^2} + T_1 \frac{dy(t)}{dt} + y(t) = k \cdot x(t), (T_1 \geq 2 \cdot T_2). \quad (1)$$

Причем T_1 берется из графика переходной характеристики, а величина T_2 определяется специальным параметрическим графиком в зависимости от t, T_1 (рис. 3).

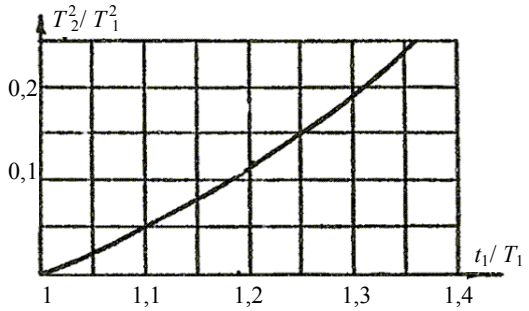


Рис. 3. График для определения постоянных времени

Тогда при $T = 0{,}7$ с, $t = 0{,}95$ с можно определить, что передаточная функция выглядит следующим образом (2):

$$W(p) = \frac{500}{0{,}12 \cdot p^2 + 0{,}7 \cdot p + 1} = \frac{500}{(0{,}4 \cdot p + 1)(0{,}3 \cdot p + 1)}. \quad (2)$$

На рис. 4 представлен график переходного процесса полученной передаточной функции.

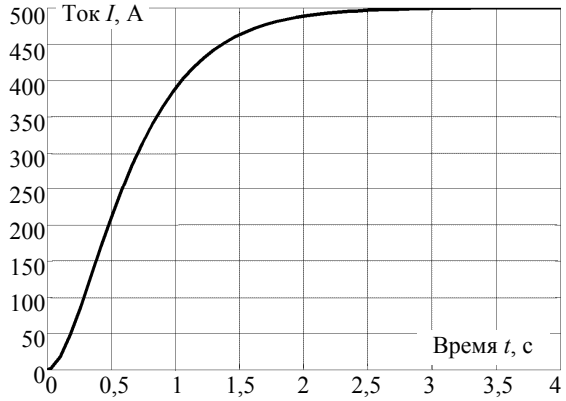


Рис. 4. Полученный график переходного процесса

Настройка регулятора

Задача системы автоматического регулирования (САР) объекта управления сводится к поддержанию заданного тока сварки. Качественный режим сварки наблюдается при сварочном токе 100 А [3]. Смоделируем ситуацию, когда есть возмущающее воздействие. Возмущающим воздействием будет являться вмятина на пути наплавки изношенной поверхности пятника. Объект управления включает в себя два элемента: ДПТ и сварочную дугу. Следовательно, возмущающее воздействие на операторно-структурной схеме будет расположено между ними. В качестве алгоритма регулирования используется ПИД-регулятор (рис. 5).

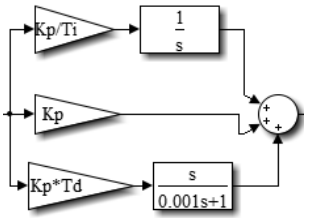


Рис. 5. Операторно-структурная схема ПИД-регулятора

Операторно-структурная схема САР представлена на рис. 6.

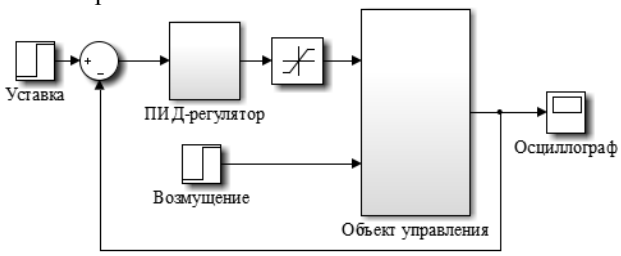


Рис. 6. Операторно-структурная схема САР

Настройка регулятора проводилась с помощью двух методов – метода Циглера–Никольса (Ц–Н), основанного на реакции на ступенчатое воздействие (единичный скачок), и метода Chien, Hrones и Reswick (CHR) [4]. На рис. 7 приведен график переходной характеристики для нахождения параметров α и L. С помощью данных параметров рассчитываются коэффициенты ПИД-регулятора.

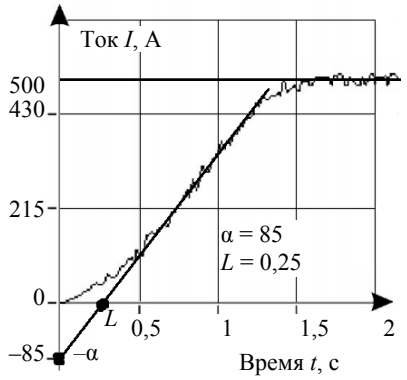


Рис. 7. Нахождение параметров α и L из характеристики объекта

В табл. 4 приведен расчет параметров ПИД-регулятора с помощью полученных параметров α и L по отклику на изменение возмущения с учетом того, что коэффициенты интегральной и дифференциальных составляющих рассчитываются как $K_i = K_p / T_i$ и $K_d = K_p \cdot T_d$ соответственно.

Таблица 1

Расчет коэффициентов по отклику на возмущения

Метод CHR			Метод Ц-Н		
K_p	K_i	K_d	K_p	K_i	K_d
$\frac{0{,}95}{\alpha}$	$\frac{K_p{}^2}{(2{,}4 \cdot L)}$	$\frac{L}{2{,}38}$	$\frac{1{,}2}{\alpha}$	$\frac{K_p{}^2}{0{,}9 \cdot L}$	$\frac{L}{2}$
$1{,}2 \cdot 10^{-2}$	$2{,}4 \cdot 10^{-4}$	$1{,}05 \cdot 10^{-1}$	$1{,}5 \cdot 10^{-2}$	$1 \cdot 10^{-3}$	$1{,}25 \cdot 10^{-1}$

Вспомним, что эти методы дают значения лишь в некоторой окрестности оптимальных параметров, и, чтобы улучшить значения показателей качества переходного процесса, необходимо продолжать подбирать коэффициенты вручную. Переходные характеристики системы с подставленными в ПИД-регулятор коэффициентами, которые были найдены различными методами, представлены на рис. 8.

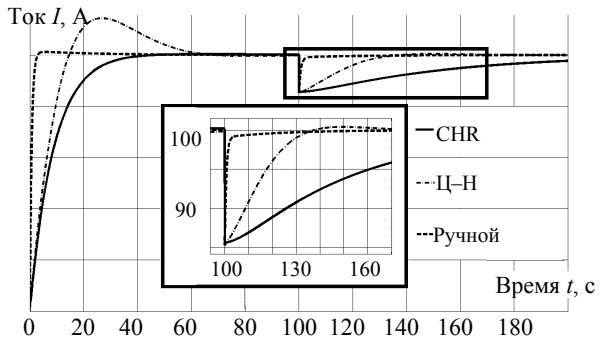


Рис. 8. Сравнение переходных характеристик

Показатели качества переходных процессов (ПП) сведены в табл. 2.

Таблица 2

Показатели качества ПП по возмущению

Метод	Ц-Н	CHR	Ручная настройка
Время ПП, с	10	25	1

Сравнив показатели качества по табл. 2, можно сказать, что благодаря ручной подстройке был получен более качественный переходный процесс. Параметры ПИД-регулятора при ручной настройке:

$$K_p = 0{,}15; K_i = 0{,}006; K_d = 0{,}1.$$

Электрическая принципиальная схема

САР током сварки было решено реализовать на основе аналогового регулятора на отдельной плате управления ДПТ.

Так как в схеме используются операционные усилители (ОУ), т.е. необходимость в двуполярном питании. Предлагаемый преобразователь полярности (рис. 9) прост в повторении и, несмотря на это, имеет хорошую стабильность средней точки.

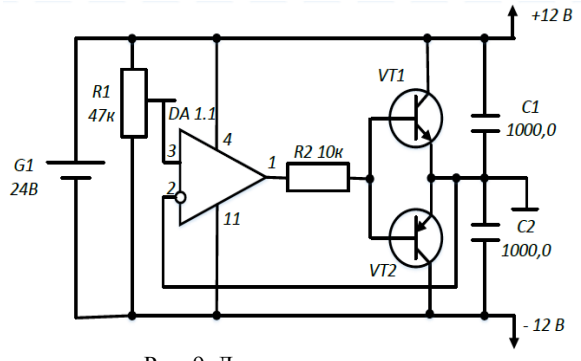


Рис. 9. Двуполярное питание

Регулировка оборотов электродвигателей в современной электронной технике достигается не изменением питающего напряжения, как это делалось раньше, а подачей на электромотор импульсов тока разной длительности. Для этих целей и служат ШИМ-регуляторы.

Для начала необходимо сформировать последовательность пилообразных импульсов, а затем подать ее на вход компаратора. Схема автоколебательного мультивибратора приведена на рис. 10. Он состоит из инвертирующего триггера Шмитта, охваченного отрицательной обратной связью с помощью интегрирующей RC-цепочки.

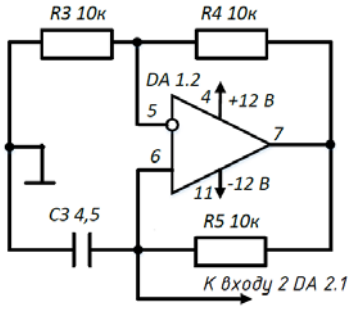


Рис. 10. Генератор пилообразных импульсов

Так как задачей САР является поддержание выбранного тока сварки, то необходимо постоянно отслеживать разницу между действительной и требуемой величиной тока. Величина желаемого тока (уставка) выставляется с помощью ручки, расположенной на панели пульта управления. Действительное значение поступает с датчика тока на инвертирующий вход вычитателя (рис. 11).

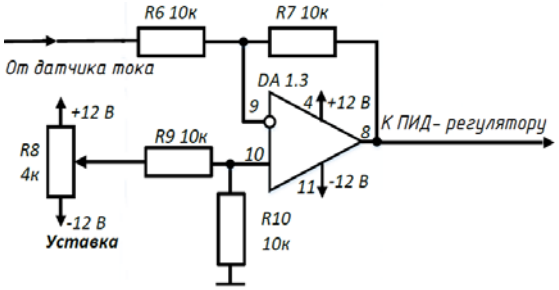


Рис. 11. Вычитатель

Ошибка регулирования поступает на ПИД-регулятор, схема которого представлена на рис. 12. Для расчета параметров элементов этой схемы используются следующие соотношения:

$$K_p = \frac{R_{10}}{R_9};\ K_i = \frac{1}{C_2 \cdot R_{10}};\ K_d = C_3 \cdot R_9.$$

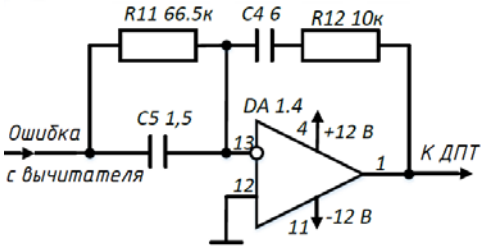


Рис. 12. ПИД-регулятор

Простейшая схема управления двигателем постоянного тока состоит из полевого транзистора, на затвор которого подается ШИМ-сигнал, который образуется после компаратора DA 2.1 (рис. 13).

Так как в регуляторе используется дифференциальная составляющая, которая усиливает шумы, то для их уменьшения используется фильтр низкой частоты (рис. 14).

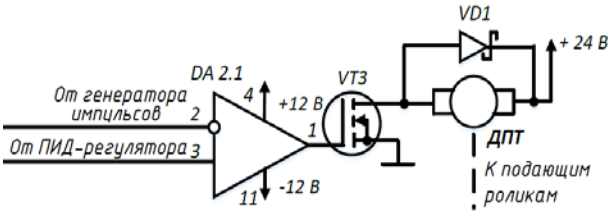


Рис. 13. Выдача сигнала на ДПТ

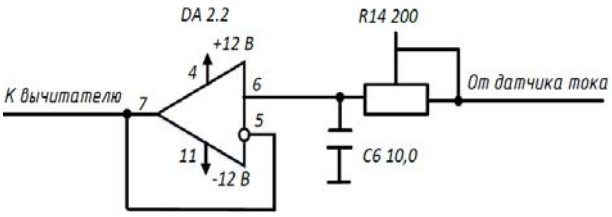


Рис. 14. Фильтр низких частот

Скорость подачи электродной проволоки регулируется изменением скорости вращения подающих роликов (рис. 15).

Электрическая принципиальная схема разработанной САР представлена на рис. 16.

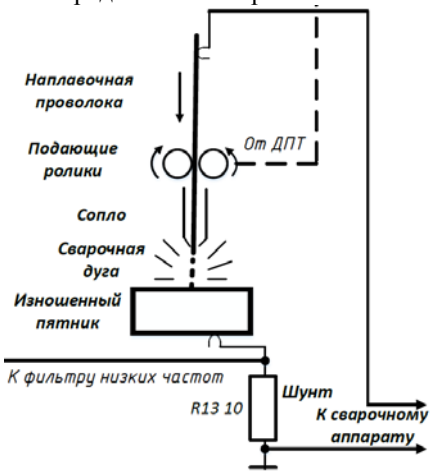


Рис. 15. Регулирование скорости подачи проволоки

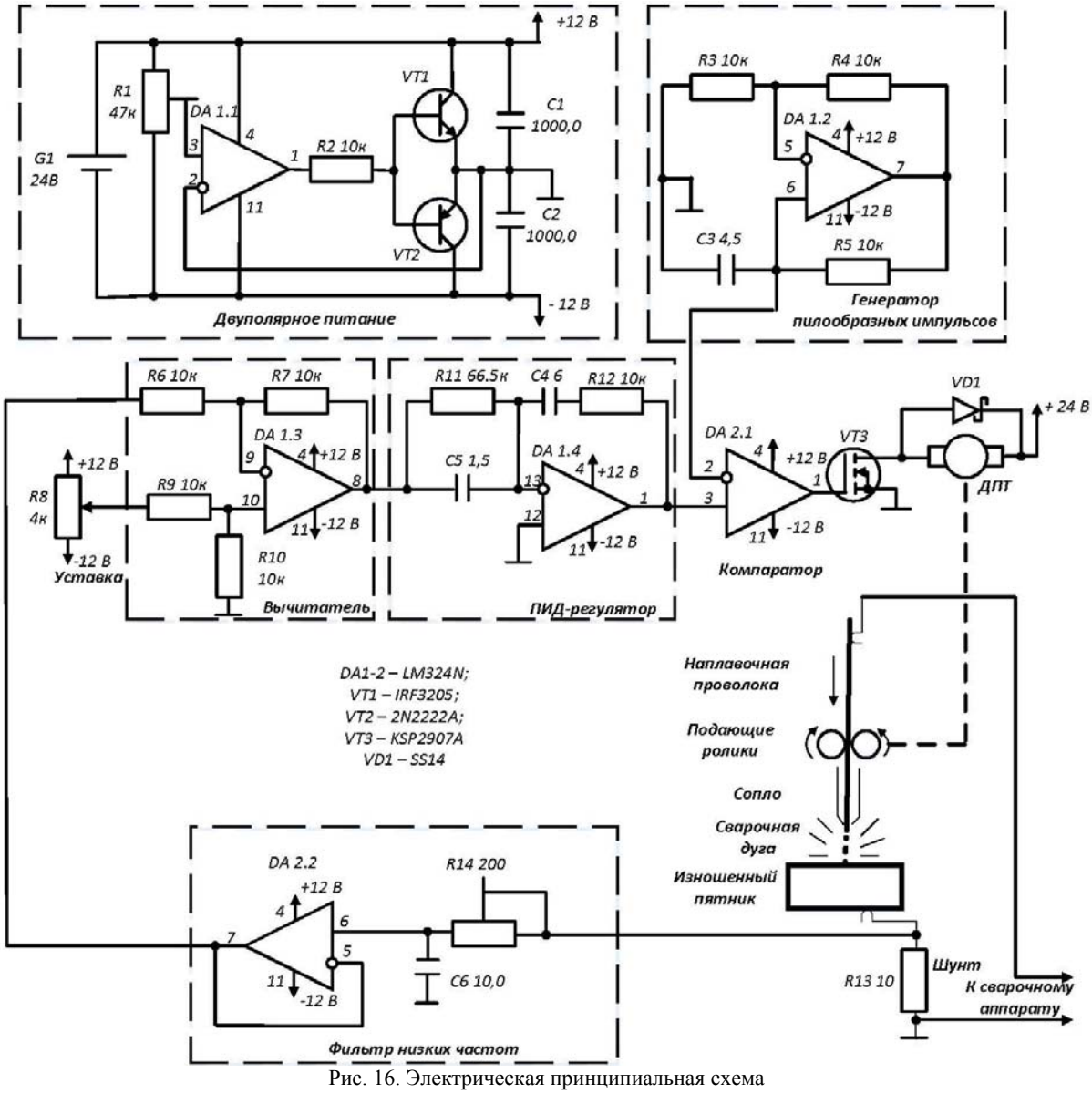


Рис. 16. Электрическая принципиальная схема

Заключение

В результате работы была разработана САР, предназначенная для поддержания выбранного параметра сварки за счет регулирования скорости подачи проволоки. Предлагаемое решение можно считать эффективной дополнительной технологией восстановления изношенных пятников.

Литература

1. Зин Э.М. Оценка ресурса пятниковых узлов в зависимости от условий эксплуатации грузовых вагонов на железных дорогах Мьянмы: автореф. дис. … канд. техн. наук: 05.22.07. – М., 2014. – 180 с.

2. Технология и оборудование сварки плавлением. Источники питания сварочной дуги [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://msd.com.ua/texnologiya-i-oborudovanie-svarki-plavleniem/istochniki-pitaniya-svarochnoj-dugi-4/, свободный (дата обращения: 02.09.2019).

3. Омельяненко К.Н. Синтез дискретно-непрерывных систем автоматического управления процессом электросварки в среде защитных газов: автореф. дис. … канд. техн. наук: 05.13.06. – Оренбург, 2013. – 17 с.

4. Расчет параметров ПИД-регулятора [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.bookasutp.ru/Chapter5_5.aspx, свободный (дата обращения: 02.09.2019).

Афанасьев Никита Андреевич
Студент ОАР НИ ТПУ
Эл. почта: naa14@tpu.ru

Тутов Иван Андреевич
Ст. преподаватель ОАР НИ ТПУ
Эл. почта: ivantutov@tpu.ru

УДК 004.89

Е.В. Смык, А.П. Береснев

Автоматическое распознавание голосовых сообщений в мессенджерах с использованием глубоких нейронных сетей

Рассмотрена проблема использования голосовых сообщений. Представлены результаты опроса пользователей мессенджеров по отношению к голосовым сообщениям. Предложен метод автоматического распознавания речи локально на устройстве с использованием глубоких нейронных сетей.
Ключевые слова: мессенджеры, голосовые сообщения, нейронные сети, автоматическое распознавание речи.

Мессенджеры стали неотъемлемой частью жизни современного человека, так как позволяют оперативно поддерживать коммуникацию. Они позволяют обмениваться не только текстом, но и вложениями. В качестве вложений могут выступать различные файлы, документы, изображения, аудио- и видеофайлы. С развитием телекоммуникаций и сетей 4G появилась возможность мгновенного обмена голосовыми сообщениями.

Такой тип сообщений позволяет передать не только текст, но и эмоции и различные звуки. Они во многом помогают, когда речь заходит о передаче большого количества информации, которую нет возможности перевести в печатный вид.

Они активно вошли в нашу жизнь и пользуются большой популярностью у пользователей мессенджеров. Но такая популярность имеет и отрицательный эффект. Многие люди зачастую злоупотребляют голосовыми сообщениями, передавая ими информацию не самого полезного или информативного содержания. А если с помощью голосовых сообщений передавалась важная информация, то это существенно затрудняет поиск по сообщениям в дальнейшем, если через какое-то время переданная информация понадобится повторно. В связи с этим появились пользователи, которые откровенно не любят такой формат сообщений и предпочитают их вовсе игнорировать.

Чтобы определить действительное отношение пользователей мессенджеров к такому формату сообщений, был проведен опрос. Мессенджерами пользуются в среднем 800 млн человек, поэтому требуемый размер выборки при доверительной вероятности в 95% составил 384 человека.

Первичный результат опроса показал, что 53,6% опрошенных относятся к голосовым сообщениям отрицательно, 31,3% – нейтрально и лишь 12,5% – положительно (рис. 1).

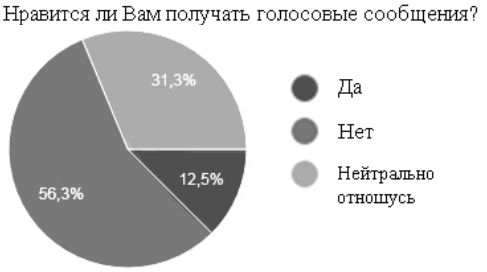


Рис. 1. Результат опроса по определению отношений пользователей мессенджеров к голосовым сообщениям

Кроме определения отношений к голосовым сообщениям, у респондентов также выявляли потребность в функции перевода таких сообщений в текстовый формат. Опрос показал, что большая часть опрошенных (88,6%) хотели бы иметь такую возможность на своих устройствах (рис. 2).

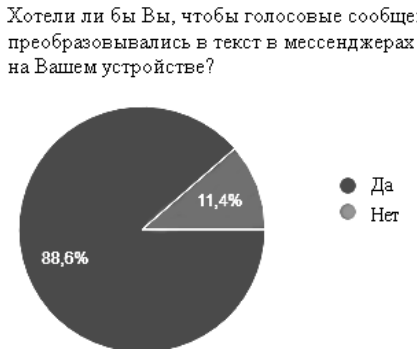


Рис. 2. Результат опроса по определению желания респондентов перевода голосовых сообщения в текстовый формат

В связи с результатом проведенного опроса было принято решение расширить функционал мессенджера функцией автоматического распознавания речи.

На сегодняшний день проблема распознавания голосовых сообщений решается с использованием плагинов для браузера и ботов для мессенджеров [1]. Эти решения используют облачные сервисы распознавания речи, такие как Yandex.SpeechKit, Cloud Speech-to-Text от Google и др. [2, 3]. Но у использования есть и недостатки. Например, Yandex.SpeechKit имеет ограничения по количеству запросов к сервису и по продолжительности голосового сообщения, а Cloud Speech-to-Text является платным сервисом. К тому же пользователь не может знать наверняка, как именно в дальнейшем будут использоваться его сообщения [4].

Кроме приведенных недостатков есть еще одно не менее важное – для их пользования необходимо проводить дополнительные действия, пересылая полученное сообщение для его обработки. Это не всегда удобно, например, когда человек находится в пути или у него заняты руки. Поэтому автоматический перевод голосовых сообщений в текстовый формат является актуальной задачей.

На сегодняшний день в России самыми популярными мессенджерами являются WhatsApp, Viber и Telegram [5]. Среди них только у Telegram есть открытый исходный код. Благодаря этому любой пользователь может воспользоваться этим кодом, модифицировать для собственных нужд и получить свою версию мессенджера. Следовательно, с помощью открытого кода на примере Telegram можно внедрить автоматическое распознавание голосовых сообщений.

Современные смартфоны имеют достаточную мощность, благодаря которой можно проводить вычисления на основе моделей нейронных сетей для автоматического распознавания речи. Соответственно алгоритм внедрения моделей нейронных сетей будет выглядеть следующим образом:

1) проектирование архитектуры и обучение модели нейронной сети с использованием GPU;

2) сохранение графа вычислений архитектуры и весовых коэффициентов;

3) использование полученных весовых коэффициентов (параметров модели) для запуска нейронной сети в мобильном приложении.

Реализация этого алгоритма зависит от того, какие библиотеки глубокого обучения и мобильные платформы будут использоваться. Во время проведения опроса по выявлению потребности в разработке автоматического распознавания голосовых сообщений у респондентов также уточнялось, какой операционной системой они пользуются. Опрос показал, что 70,7% опрошенных пользуются именно Android (рис. 3).

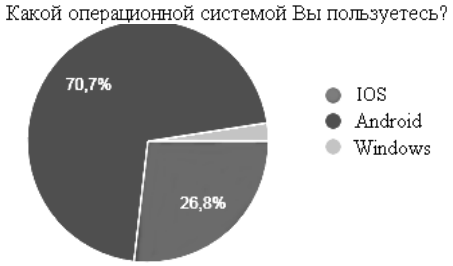


Рис. 3. Результат опроса по выявлению популярной операционной системы у респондентов

Следовательно, обученную модель было решено внедрить сначала в операционную систему Andriod.

По состоянию на 2018 г. одним из наиболее популярных фреймворков для глубокого обучения является PyTorch [6]. К тому же он позволяет экспортировать обученную модель в формате ONNX (Open Neural Network Exchange) и использовать её в программном модуле для платформы Android. Поэтому для создания модели нейронной сети для автоматического распознавания речи будет использоваться этот фреймворк.

На сегодняшний день существует множество подходов и алгоритмов автоматического распознавания речи. В частности, будем рассматривать, как работает Yandex.SpeechKit.

Распознавание аудио происходит в три этапа:

1. Выделяются слова. Обычно существует несколько гипотез распознанного слова.

2. Гипотезы проверяются с помощью языковой модели. Модель проверяет, насколько согласуется новое слово со словами, распознанными ранее.

3. Обрабатывается распознанный текст – числительные преобразуются в цифры, расставляются некоторые знаки препинания (например, дефисы) и т.д. Этот преобразованный текст и является финальным результатом распознавания, который отправляется в теле ответа [7].

Существует множество вариаций первого и второго этапа распознавания голоса, и они дают достаточно хороший результат [8]. Однако в настоящее время достаточно популярны end-to-end решения с использованием рекуррентных LSTM (Long short-term memory) модулей и использованием CTC (Connectionist Temporal Classification) функции ошибки [9, 10]. Входные данные для такой модели могут представляться в виде звука, а выходные – в

виде готового текста. А для стримингового аудио специалисты из Google предложили RNN-T архитектуру [11]. В результате им удалось сократить размер модели для возможного использования на мобильном устройстве. Предлагается использовать глубокую нейронную сеть на основе этого механизма.

На практике звук обычно преобразуется в логарифмированный и отмасштабированный спектр, что соответствует закономерностям человеческого слухового восприятия (Mel-преобразование).

Звук нарезается участками по 25 мс (фреймами). Как правило, шаг нарезки составляет 10 мс, так что соседние фреймы частично пересекаются. Далее амплитуды колебаний по времени переводятся в спектр. Полученные величины подвергаются дискретному косинусному преобразованию (DCT), и в результате получается MFCC – Mel Frequency Cepstral Coefficients. (Слово Cepstral получено перестановкой букв в Spectral, что отражает наличие дополнительного DCT). MFCC – это вектор из 13 (обычно) вещественных чисел. Далее MFCC-векторы подаются на вход модели нейронной сети.

Существует набор обучающих данных разного формата, в том числе и на русском языке. От аудиокниг, видеороликов с YouTube, радио до телефонных разговоров [12]. Так как данные с аудиокниг не имеют шумов, то такие данные не подходят, поэтому лучше использовать данные телефонных разговоров для обучения модели.

В соответствии с описанным выше алгоритмом внедрения полученная модель сохраняется в формате ONNX.

Для того чтобы полученную модель можно было использовать в приложении для Android, дополнительно следует написать модуль на C++, который будет взаимодействовать с кодом на Java. Входные данные для модели – спектр, поэтому в коде на Java входной файл необходимо преобразовать в MFCC-векторы, которые являются входными данными для модели.

Выходными данными для модели является стока, которая показывается пользователю в дополнительном TextView в ячейке с голосовым сообщением (AudioCell) в приложении Telegram.

Заключение

В данной работе была рассмотрена проблема автоматического распознавания голосовых сообщений на примере мессенджера Telegram. Для распознавания речи было предложено использовать end-to-end модель нейронной сети, которая в дальнейшем экспортируется на Android. Современные мобильные устройства не позволяют использовать модели нейронных сетей большой емкости, которые используются в облачных сервисах, следовательно уступают в точности распознавания. Однако такое решение позволяет быстро и без лишних усилий получить результат. Всё же если есть необходимость точной передачи информации, собеседникам следует использовать текст, нежели голосовые сообщения.

Литература

1. Обработка голосовых запросов в Telegram с помощью Yandex SpeechKit Cloud [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://habr.com/ru/post/311578 (дата обращения: 10.09.2019).

2. Yandex.SpeechKit [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://cloud.yandex.ru/services/speechkit (дата обращения: 10.09.2019).

3. Cloud Speech-to-Text. AI & Machine Learning Products [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://cloud.google.com/speech-to-text/ (дата обращения: 10.09.2019).

4. Google записывает и прослушивает голосовой ввод пользователей [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.comss.ru/page.php?id=6231 (дата обращения: 10.09.2019).

5. Telegram попал в топ-3 самых популярных мессенджеров [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://newizv.ru/news/society/15-04-2019/telegram-popal-v-top-3-samyh-populyarnyh-messendzherov (дата обращения: 12.09.2019).

6. Andrej Karpathy on Twitter [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://twitter.com/karpathy/status/972295865187512320 (дата обращения: 12.09.2019).

7. Распознавание речи от Яндекса. Под капотом у Yandex.SpeechKit [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://habr.com/ru/company/yandex/blog/198556/ (дата обращения: 11.09.2019).

8. Speech Recognition – Acoustic, Lexicon & Language Model [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://habr.com/ru/company/yandex/blog/198556/ (дата обращения: 11.09.2019).

9. Toward End-to-End Models for Automatic Speech Recognition [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://iscslp2018.org/images/T4_Towards%20end-to-end%20speech%20recognition.pdf (дата обращения: 13.09.2019).

10. Connectionist Temporal Classification: Labelling Unsegmented Sequence Data with Recurrent Neural Networks [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.cs.toronto.edu/~graves/icml_2006.pdf (дата обращения: 13.09.2019).

11. An All-Neural On-Device Speech Recognizer [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://ai.google-blog.com/2019/03/an-all-neural-on-device-speech.html (дата обращения: 13.09.2019).

12. Russian Open Speech To Text (STT/ASR) Dataset [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://github.com/snakers4/open_stt (дата обращения: 14.09.2019).

Смык Елена Вячеславовна
Магистрант каф. управления инновациями (УИ) ТУСУРа
Эл. почта: franom@mail.ru

Береснев Алексей Павлович
Аспирант ОИТ ИШИТР НИ ТПУ
Эл. почта: apb3@tpu.ru

УДК 004.932

А.В. Бибик, М.Ю. Катаев

Web-информационная система контроля походки человека по изображению

Описывается Web-информационная система, исследующая походку на основе центра масс фигуры человека.
Ключевые слова: двигательная активность, центр масс, походка, обработка.

В работе представлены результаты исследования параметров походки человека, регистрируемой с помощью видеоцифровой камеры. Метод определения параметров походки связан с выделением фигуры движущегося человека на отдельных изображениях видео, определением центра тяжести и следующей оценкой параметров движения. Ранее проведенные исследования показали высокую точность определения параметров походки человека. Доступность предлагаемой методики для населения нами реализуется через разработку web-информационной системы (Web-ИС), основные элементы которой представлены ниже.

Структура Web-ИС

Концептуальная структура Web-ИС показана на рис. 1. Пользователем могут выступать как желающие, так и пациенты в медицинских учреждениях.

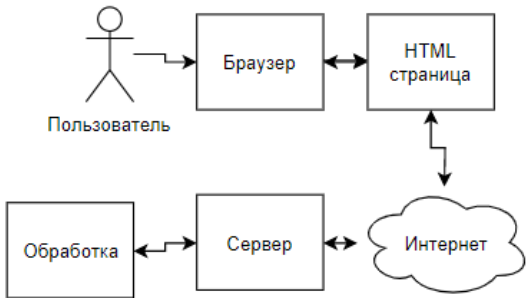


Рис. 1. Концептуальная структура Web-ИС

В браузере загружается html страница с необходимым функционалом для работы. Пользователь загружает видеофайл на сайт. Видеофайл отправляется на сервер, где он проходит обработку. Результат в виде протокола оценки параметров походки по запросу пользователя можно скачать. Определяемые параметры походки: длина правого, левого шага, двойной шаг, симметрия шагов, ритмичность, повторяемость, тенденции при повторных измерениях и др.

Структура Web-ИС для обработки изображений

На рис. 2 приведена структура Web-ИС для обработки изображений.

Видеофайл проходит две стадии обработки: предварительную и тематическую. Предварительная обработка включает в себя:

1. Разбитие видеофайла на отдельные кадры.

Кадры записываются в формате PNG или BMP. Преимущество данного формата заключается в небольшом размере изображения [1].

2. Выравнивание яркости по методике «Серый мир», которая предполагает, что сумма всех цветов на изображении в результате дает естественный серый цвет [2].

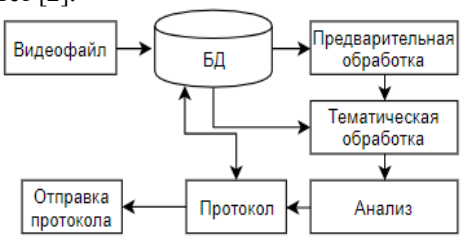


Рис. 2. Структура Web-ИС для обработки изображений

Подсчет средней яркости по каналам происходит по следующим формулам:

$$Avg = \frac{\overline{R} + \overline{G} + \overline{B}}{3}, \qquad (1)$$

где $\overline{R} = \frac{1}{N}\sum R(x,y)$, $\overline{G} = \frac{1}{N}\sum G(x,y)$, $\overline{B} = \frac{1}{N}\sum B(x,y)$.

Тематическая обработка включает:

1. Бинаризацию.

Бинаризация – это перевод цветного изображения в черно-белое. В таком случае каждый пиксель может принимать значения 0 или 1. Объект выделяется белым цветом, а фон черным.

2. Удаление артефактов.

3. Поиск центра масс.

Центр масс располагается чуть ниже пуповины. Найти на изображении его можно посредством построения двух диагоналей (рис. 3).



Рис. 3. Методика поиска центра масс фигуры человека

Обработанный массив изображений анализируется с целью выявления особенностей в походке исследуемого. В идеале колебания центра масс имеют симметричный, синусоподобный характер (рис. 4). В процессе движения колебания происходят по синусоиде [3].

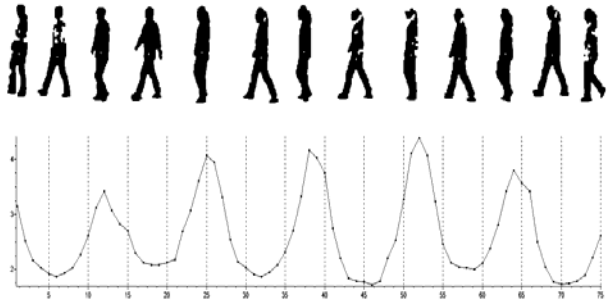


Рис. 4. Колебания центра масс в момент движения человека

По полученным результатам составляется протокол. В него входят следующие данные:

1. Длина правого и левого шага.
2. Двойной шаг.
3. Симметрия правого и левого шагов.
4. Амплитуда колебания центра масс.
5. Ритмичность.

Основные результаты

1. Выполнена разработка структуры программного обеспечения в виде web информационной системы и определены основные функции взаимодействия с пользователем.

2. Определены методики обработки изображений и найдены условия автоматической их работы в разнообразных условиях освещения.

3. На основе методик выполнена разработка алгоритмов автоматической обработки поступающих изображений в целях диагностики параметров походки человека.

4. Разработан протокол, показывающий основные результаты проведенных исследований и позволяющий при повторных измерениях учитывать тенденции изменения параметров походки.

Литература

1. https://www.logaster.ru/blog/png/

2. Захаров Р.К. Методы повышения качества изображений в задачах распознования. – 2012.

3. Marcello Fusca, Francesco Negrini, Paolo Perego, Luciana Magoni, Franco Molteni, Giuseppe Andreoni Validation of a Wearable IMU System for Gait Analysis: Protocol and Application to a New System. – 2018.

Бибик Андрей Владиславович
Магистрант каф. АСУ ТУСУРа
Эл. почта: mr.andreibibik@gmail.com

Катаев Михаил Юрьевич
Д-р техн. наук, профессор каф. АСУ ТУСУРа
Эл. почта: kataev89@gmail.com

УДК 681.5.013

С.К. Атанов, А.З. Бигалиева

Интеллектуальное управление технологическим процессом тонкого помола LQR-регулятором

Представлена разработка линейно-квадратичного регулятора (LQR) для интеллектуального управления технологическим процессом тонкого помола. LQR-регулятор был разработан для контроля качества выходного материала мельницы. В разработанном LQR-регуляторе учтена динамика системы. В ходе работы представлена структура регулятора, описан подход LQR к поиску оптимальной матрицы усиления, а также концепция квадратичного интегрального функционала *и*, который используется с LQR. Применен алгоритм проектирования LQR и приведены результаты моделирования. Моделирование реализовано в среде MATLAB.

Ключевые слова: LQR-регулятор, интеллектуальное управление, системы обратной связи, управление процессами.

LQR – это тип оптимального управления, основанный на представлении в пространстве состояний (рис. 1).

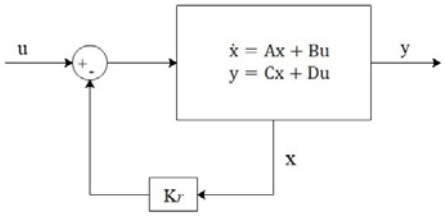


Рис. 1. Структура LQR

Структура LQR возвращает вектор полного состояния, затем умножает его на матрицу усиления **K** и вычитает его из масштабированного задания.

В чём различие регуляторов с обратной связью? Отличие в том, как мы выбираем **K**.

В случае LQR мы находим оптимальную матрицу **K**, выбирая характеристики замкнутого цикла, которые важны для нас, в частности, насколько хорошо работает система и сколько усилий нужно для достижения этой производительности. Затраты обычно измеряются в усилиях привода или количестве энергии, которое требуется.

Подход LQR к поиску оптимальной матрицы усиления следующий:

– настройка квадратичного интегрального функционала, который суммирует взвешенную сумму производительности и общего времени:

$$J=\int_0^{\infty}(x^T\mathbf{Q}x+u^T\mathbf{R}u)dt\,,$$

– возвращает матрицу усиления, которая дает наименьшие затраты

$$u=-Kx\,,$$

– с учетом динамики системы

$$\dot{x}=\mathbf{A}x+\mathbf{B}u,$$

$$y=\mathbf{C}x+\mathbf{D}u.$$

Концепция квадратичного интегрального функционала u, который используется с LQR, следующая: исключается плохая производительность, регулируя Q, и уменьшается усилие привода, регулируя **R**.

Что означает производительность для этого квадратичного интегрального функционала? Производительность оценивается по вектору состояний. Нам необходимо, чтобы каждое состояние было равным нулю и возвращалось к начальной точке равновесия. Таким образом, если система инициализируется в некотором ненулевом состоянии, чем быстрее она возвращается к нулю, тем выше производительность и ниже стоимость.

Однако состояния могут быть отрицательными или положительными. Для того чтобы отрицательные значения не вычитались из общей стоимости, возводим в квадрат значение, чтобы убедиться, что оно положительное. Это приводит к непропорционально большим потерям за большие ошибки, чем за меньшие, но это хороший компромисс, поскольку он превращает нашу целевую функцию в квадратичную. Квадратичные функции являются выпуклыми и, следовательно, имеют определенное минимальное значение. Квадратичные функции, которые подчиняются линейной динамике, остаются квадратичными, поэтому система также будет иметь определенное минимальное значение.

Наконец, необходимо иметь возможность оценить относительную важность каждого состояния. Следовательно, **Q** – это не одно число, а квадратная матрица, которая имеет такое же количество строк, как и состояний:

$$[x_1,x_2,\ldots x_n]\begin{bmatrix}\square & \square & \square\\ \square & \square & \square\\ \square & \square & \square\end{bmatrix}\begin{bmatrix}x_1\\ x_2\\ \ldots\\ x_n\end{bmatrix}.$$

Матрица **Q** должна быть положительно определенной, чтобы при умножении ее на векторы состояния полученное значение было положительным и отличным от нуля. И часто это просто диагональная матрица с положительными значениями по диагонали. С помощью этой матрицы мы можем нацеливать состояния, в которых мы хотим действительно низкую ошибку, сделав соответствующее значение в матрице **Q** действительно большим, а состояния, которые нас не волнуют, делают эти значения действительно маленькими.

Другая половина квадратичного интегрального функционала складывает стоимость активации или приведения в действие. Подобным образом рассматривается входной вектор и возводятся в квадрат значения, чтобы убедиться, что они положительные, а затем значения взвешиваются с помощью матрицы **R**, которая имеет положительные множители по диагонали.

Q и **R** являются частью большей весовой матрицы, недиагональные члены этой матрицы равны нулю

$$[x^t,u^T]\begin{bmatrix}\mathbf{Q} & 0\\ 0 & \mathbf{R}\end{bmatrix}\begin{bmatrix}x\\ u\end{bmatrix}.$$

Таким образом, устанавливая значения **Q** и **R**, мы можем точно указать, что для нас важно.

$$[x_1,x_2,\ldots x_n]\begin{bmatrix}\mathbf{Q}_1 & & & 0\\ & \mathbf{Q}_2 & 0 & \\ & \ldots & \ldots & \\ 0 & & & \mathbf{Q}_n\end{bmatrix}\begin{bmatrix}x_1\\ x_2\\ \ldots\\ x_n\end{bmatrix},$$

$$[u_1,u_2,\ldots u_n]\begin{bmatrix}R_1 & & & 0\\ & R_2 & 0 & \\ & \ldots & \ldots & \\ 0 & & & R_n\end{bmatrix}\begin{bmatrix}u_1\\ u_2\\ \ldots\\ u_n\end{bmatrix}.$$

Возвращаясь к вопросу: как решить проблему оптимизации?

Алгоритм проектирования LQR:

1) разработка линейной модели динамики системы;

2) настройка **Q** и **R** весовых матриц;

3) поиск оптимальной матрицы усиления **K**, запустив команду LQR в MATLAB;

4) моделирование системы. При необходимости корректировка значений **Q** и **R**.

Постановка задачи

В работе рассмотрена задача синтеза оптимального регулятора для управления технологическим объектом. В качестве объекта управления принята мельница планетарного типа, которая производит тонкий и сверхтонкий помол материала.

Материалом измельчения в мельнице является шлак медеплавильного производства, из которого выделяют металлическую медь. В испытательной лаборатории инженерного профиля «Комплексное освоение ресурсов минерального сырья» РГП на ПХВ Карагандинского государственного технического университета установлено, что наибольшая извлекаемость металлов из шлака медеплавильного производства достигается при помоле с тониной 80…125 мкм.

Контроль качества помола в мельнице осуществляется гранулометром, предназначенным для непрерывного автоматического контроля гранулометрического состава шлака, без отбора проб, непосредственно в потоке и обеспечивающим непрерывное определение и отображение на дисплее величины процентного содержания контрольных классов крупности частиц в пульпе, выдачу стандартного сигнала на регулирующие устройства и передачу данных по каналам связи.

Целью оптимального управления процессом измельчения является поддержание заданного значения качества помола. Регулирование осуществляется изменением величины входящего потока заслонкой, привод которой перемещается с помощью электородвигателя.

Решение задачи

Следуя вышеописанному алгоритму, разработана линейная модель динамики системы, где матрицы с постоянными компонентами **A**, **B**, **C**, **D** имеют следующие значения:

$$\mathbf{A}=\begin{bmatrix} -8{,}5 & -0{,}55 & -0{,}128 \\ 1{,}0 & 0 & 0 \\ 0 & 0{,}125 & 0 \end{bmatrix}, \quad \mathbf{B}=\begin{bmatrix} 16 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix},$$

$$\mathbf{C} = [8{,}8215 \quad -0{,}0938 \quad 1{,}1], \ \mathbf{D} = 0.$$

После настройки и корректировки весовых матриц **Q** и **R** были установлены следующие значения:

$$\mathbf{Q}=\begin{bmatrix} -77{,}6602 & -0{,}8262 & 10{,}5750 \\ -0{,}8262 & 0{,}0088 & -0{,}1125 \\ 10{,}5750 & -0{,}1125 & 1{,}4400 \end{bmatrix}, \quad \mathbf{R} = 1000.$$

Оптимальная матрица усиления равна

$$\mathbf{K} = [-0{,}07606 \quad -0{,}0191 \quad -0{,}0271].$$

Результаты

Ниже представлен результат моделирования системы с применением вышеописанных значений (рис. 2).

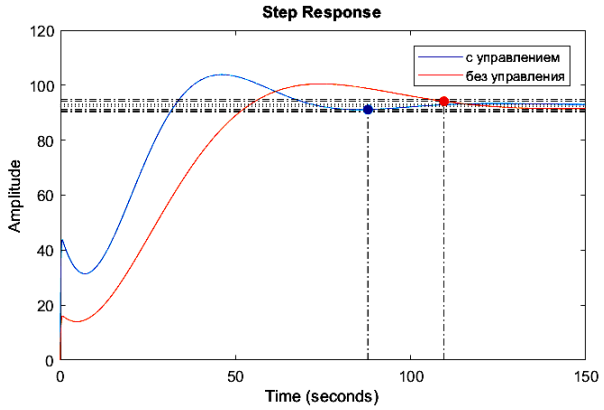


Рис. 2. Переходный процесс в системе без управления и с управлением LQR при условии $\mathbf{R}_{\text{п}} = 1000$

Применение оптимального управления сокращает время переходного процесса, что в свою очередь ведёт к достижению поставленной цели, сокращение энергопотребления без потери необходимого качества конечного продукта.

Заключение

С LQR вопрос проектирования состоит в том, как мы устанавливаем **Q** и **R**. В настоящее время не существует единого метода, который подходит всем для выбора этих весов; настройка их интуитивна. Возможно просто начать с матрицы идентификаторов для **Q** и **R**, а затем настроить их методом проб и ошибок и интуицией в вашей системе.

Очевидно, что при использовании управления LQR время переходного процесса в системе сокращается. Регулятор обладает большей мощностью, интенсивная работа обратной связи повышает точность управления.

Литература

1. Веремей Е.И. Линейные системы с обратной связью. – СПб.: Лань, 2013. – 448 с.

2. Aström K.J., Murray R.M. Feedback Systems: An Introduction for Scientists and Engineers. – Princeton Univeristy Press, 2010. – 408 p.

3. Бойков И.В., Кривулин Н.П. Методы идентификации динамических систем // Программные системы: теория и приложения. – 2014. – Т. 5, № 5-2(23). – С. 79–96.

4. Bamieh B., Giarré L. Identification of linear parameter varying models // Int. J. Rob. Nonl. Cont. – 2002. – Vol. 12. – P. 841–853.

5. Skogestad S., Postlethwaite I. Multivariable Feedback Control: Analysis and Design –Wiley, 2005. – 608p.

6. Doyle J.C., Francis B.A., Tannenbaum A.R. Feedback Control Theory. – Dover Publications, 2013. – 226 p.

7. Bateman T., Blakeley B., Dean A., Hanft J., Sheek M. UAV Stability Augmentation System (USAS) // Procedia Engineerning. – University of Colorado, 2014. – P. 245–257

8. Stengel R.F. Optimal Control and Estimation. – Dover Publications. Reissue edition, 2012. – 672 p.

9. El-Osery Aly. MATLAB Tutorial. – http://www.ee.nmt.edu. – 2004.

10. Grewal M., Andrews A. Kalman Filtering Theory and Practice Using MATLAB. – 4th ed. – John Wiley & Sons, 2015. – 617 p.

11. Филипс Ч., Харбор Р. Системы управления с обратной связью. – М.: Лаборатория базовых знаний, 2001. – 616 с.

Атанов Сабыржан Кубейсинович
Д-р техн. наук, профессор каф. вычислительной техники (ВТ) Евразийского национального университета им. Л.Н. Гумилева (ЕНУ им. Л.Н. Гумилева)
ORCID (0000-0003-2115-7130)
Эл. почта: atanov5@mail.ru

Бигалиева Альфия Замировна
Докторант каф. ВТ ЕНУ им. Л.Н. Гумилева
Преп. каф. информационных технологий и безопасности Карагандинского гос. технического ун-та (КарГТУ)
ORCID (0000-0002-0136-5402)
Эл. почта: alfija84@mail.ru

УДК 004:658.011.56

С.Г. Фролов

Разработка устройства для получения сигнала с потенциально дефектного участка системы теплоснабжения

Проблема своевременного обнаружения дефектов с последующей локализацией места утечки в системе теплоснабжения достаточно актуальна. От времени нахождения и устранения порыва зависит качество предоставляемой услуги населению. В данной статье описывается прототип устройства для получения сигнала с потенциально дефектного участка системы теплоснабжения, который является частью аппаратно-программного комплекса автоматизированной системы обнаружения и локализации утечек в системе теплоснабжения.

Ключевые слова: обнаружение дефектов в системе теплоснабжения, прототип устройства, обнаружение и локализация утечек.

На сегодняшний день одним из самых эффективных методов обнаружения и локализации утечки, применяемых в ресурсоснабжающей сфере, является корреляционный метод. Данный метод основан на корреляционном анализе двух сигналов, снятых с участка трубопровода датчиками, установленными на известном расстоянии между ними. В результате применения перекрестной корреляции получается кривая корреляции, анализируя которую, можно сделать вывод о наличии или отсутствии дефекта на изучаемом трубопроводе [1].

Данный метод используется в корреляционных течеискателях промышленного производства, которые являются дорогостоящим оборудованием, а также требуют непосредственного участия оператора с выездом на место предполагаемого дефектного участка [2]. Все эти факторы не позволяют использовать данное оборудование в качестве аппаратной части автоматизированной системы.

Чтобы реализовать часть автоматизированной системы, отвечающую за снятие данных непосредственно с трубопровода, необходимо учитывать, что дефекты трубопровода производят шум в диапазоне до 2000 Гц [2]. По теореме Котельникова, для обработки аналогового сигнала с таким диапазоном частот необходимо устройство, которое имеет частоту дискретизации, по меньшей мере вдвое превышающую максимальную частоту входного сигнала [3] (в данном случае не менее 4000 Гц).

Обзор существующих микропроцессорных решений

Наиболее подходящими в бюджетном ценовом диапазоне можно выделить следующие устройства:

• Устройства семейства Raspberry Pi (рис. 1).

• Устройства семейства Arduino (Nano, Uno, Mega).

Устройства семейства Raspberry Pi позиционируются на рынке как одноплатные компьютеры и имеют следующие недостатки:

• Размеры устройства – по сравнению с Arduino, Raspberry Pi имеет большой размер, что негативно сказывается на компактности устройства.

• Стоимость.

• Модульность – при выходе из строя Raspberry Pi придется менять все устройство.

• Энергопотребление – большое количество лишних периферийных устройств (сетевая карта, видеовыходы, порты USB) потребляют энергию, что негативно сказывается на автономности работы.



Рис. 1. Raspberry Pi 3 Model B+

В качестве основы датчика, способного оцифровать сигнал в необходимом диапазоне и в дальнейшем передать его на сервер обработки, используется Arduino Nano с микропроцессором Atmel Atmega 328P (рис. 2).

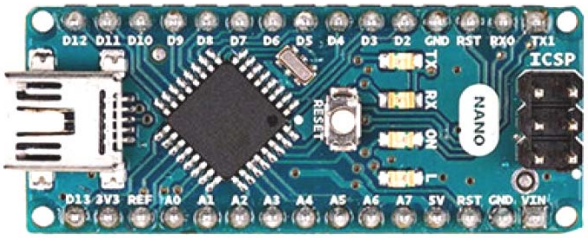


Рис. 2. Arduino Nano

Данное устройство имеет возможность обработки входного сигнала частотой до 8000 Гц. Также данное устройство имеет следующие преимущества:

• Низкая стоимость – стоимость крайне низкая по сравнению с конкурентами в бюджетном ценовом диапазоне.

• Модульность – в случае выхода из строя какого-либо модуля его можно быстро заменить.

• Масштабируемость – платформа Arduino имеет огромное количество модулей для различных целей, что позволяет разработать необходимое по функционалу устройство, не затрачивая на прототип большого количества ресурсов.

• Компактность – Arduino Nano имеет небольшой размер.

• Простота разработки прошивки – Arduino имеет собственную IDE для разработки скетчей [4].

Данные преимущества позволяют использовать разрабатываемое устройство в качестве автономного датчика, способного по запросу от системы снять данные и передать их на обработку.

Однако микропроцессорные устройства промышленного изготовления, такие как Adruino, имеют большой недостаток – завышенное энергопотребление вследствие использования стабилизатора по питанию и питания контроллера USB (CH340 в случае аналога и FTDI в случае оригинального устройства). С указанными модулями Arduino Nano потребляет в покое 20 мА, а в их отсутствии – 0,5–1 мА. Данный недостаток можно компенсировать за счет большей емкости батарейного блока.

Описание прототипа

Прототип устройства включает в себя следующие компоненты:

• Микропроцессорная плата – основа всего устройства, содержит в себе прошивку, отвечающую за логику работы устройства.

• Батарейный блок для обеспечения автономной работы устройства.

• Модуль для работы с флеш-памятью – в память помещаются данные, которые впоследствии будут отправлены на сервер.

• Усилитель сигнала – усиливает сигнал, снятый с головки.

• Снимающая головка – считывает сигнал непосредственно с трубопровода.

• Модуль для передачи данных на сервер.

Обобщенная схема прототипа представлена на рис. 3.



Рис. 3. Обощенная схема прототипа устройства

Принцип работы прототипа следующий.

После получения сигнала от сервера, устройство выходит из спящего режима и запускает цикл записи. Головка, состоящая из пьезоэлемента, прикрепленного непосредственно к трубопроводу, снимает данные, которые, проходя через усилитель, считываются процессором и сохраняются во флеш-память. После записи некоторого количества данных устройство прекращает запись и, используя модуль передачи данных, отправляет полученные данные на сервер обработки и переходит в спящий режим.

Спящий режим необходим прототипу для увеличения времени автономной работы устройства. В спящем режиме энергия потребляется лишь на проверку наличия пакета от сервера на запуск цикла работы.

Прототипы работают независимо друг от друга и не имеют связи между собой, однако сервер опрашивает пары устройств, установленных на одном участке на известном расстоянии между ними.

Данный прототип является частью аппаратно-программного комплекса автоматизированной системы обнаружения и локализации утечек в системе теплоснабжения, использование которой позволит оперативнее определять места утечек и устранять их.

Заключение

В результате работы было разработано устройство для снятия данных с потенциально дефектного участка трубопровода. С помощью данного устройства автоматизированная система обнаружения и локализации утечек в системе теплоснабжения получает необходимые данные, анализируя которые, можно установить факт наличия или отсутствия дефекта в исследуемом участке теплоснабжения.

Литература

1. Фролов С.Г. Корреляционный метод обнаружения и локализации утечки теплоносителя // Междунар. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых «Научная сессия ТУСУР–2019»: сб. избранных статей, Томск, 22–24 мая 2019 г. – Томск: В-Спектр, 2019. – Ч. 2. – С. 11–15.

2. Корреляционные течеискатели [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.z-tec.ru/product-category/categories/teleinspektsiya-techeiskateli-trassoiskateli/techeiskateli/korrelyatsionnye/, свободный (дата обращения: 15.07.2019).

3. Теорема Котельникова [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://scask.ru/a_book_tec.php?id=14, свободный (дата обращения: 04.09.2019).

4. Arduino Nano [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://store.arduino.cc/usa/arduino-nano, свободный (дата обращения: 04.09.2019).

Фролов Сергей Геннадьевич
Аспирант каф. АСУ ТУСУРа
Эл. почта: sgf2@tpu.ru

УДК 004.021:681.5

А.Н. Горитов

Сравнительный анализ методов бинаризации изображений

Одним из базовых методов обработки изображений является преобразование исходного изображения к бинарному. Бинарное изображение позволяет определить ряд базовых характеристик объектов, находящихся на исходном изображении, таких как границы локальной области, на которой находится объект, площадь, занимаемая объектом, длина периметра, центральные моменты второго порядка и т.д. При преобразовании исходного изображения к бинарному часто сталкиваются с проблемами, связанными с неравномерным освещением на изображении, наличием теней у объектов, бликов. В силу неравномерного освещения методы бинаризации, использующие глобальный порог, не всегда позволяют правильно обработать исходное изображение. Более гибкими являются методы с локальным порогом бинаризации. В этих методах порог бинаризации рассчитывается для локальной области или каждого пикселя исходного изображения отдельно. В то же время методы бинаризации, эффективно обрабатывающие изображение в одной предметной области, могут оказаться столь же неэффективными в другой предметной области. В работе проводится сравнение методов бинаризации с локальным порогом применительно для обработки изображений в области робототехники.

Ключевые слова: техническое зрение, обработка изображения, бинарное изображение.

Система технического зрения (СТЗ), включенная в контур управления роботом, должна обеспечивать высокую скорость обработки изображения внешней среды и выдавать максимально точную информацию об объектах внешней среды. Требования к быстродействию обусловлено тем, что СТЗ не должна задерживать технологический процесс. Требование к точности получаемой информации об объектах внешней среды обусловлено тем, что на основе полученной информации от СТЗ управляющая система робота вырабатывает соответствующие команды [1].

Сокращения времени обработки изображения с помощью СТЗ можно добиться путем уменьшения объема информации, подлежащей обработке. Это достигается путем выделения объектов, представляющих интерес для дальнейшей обработки, то есть изображение разделяется на фон и объекты. Также это позволяет сократить объем памяти, занимаемый видеоизображением [2].

Одной из задач, с которой приходится сталкиваться при анализе изображений внешней среды манипуляционного робота, является определение геометрических характеристик объектов на изображении, представляющих определенный интерес для дальнейшей обработки [3].

Сложность бинаризации изображения обусловлена тем, что рабочая сцена робота часто освещается несколькими источниками света. Из-за неравномерности освещения у объектов появляются тени. Также на объектах могут появиться блики. Все это негативно сказывается на точности определения геометрических характеристик объектов интереса, что в свою очередь может привести к ошибкам классификации объектов интереса.

Для исследований была выбрана бинаризация с нижним порогом, реализованная согласно правилу [4],

$$B(x,y)=\begin{cases}1, & f(x,y)>T,\\ 0, & f(x,y)\geq T,\end{cases}$$

где $f(x, y)$ – яркость пикселя (x, y) исходного изображения, $B(x, y)$ – значение пикселя результирующего изображения, T – порог бинаризации.

Методы бинаризации принято делить на методы с глобальным порогом и методы с локальным порогом бинаризации. В методах с глобальным порогом вычисленное значение порога бинаризации используется при обработке всех пикселей исходного изображения. В методах с локальным порогом значение порога бинаризации вычисляется для некоторой области исходного изображения или для каждого пикселя исходного изображения отдельно.

Из-за неравномерного освещения методы бинаризации на основе глобального порога часто дают неудовлетворительные результаты. Часть недостаточно освещенного фона в процессе бинаризации может быть отнесена к объектам, что негативно скажется на обработке бинарного изображения на последующих этапах. В этом плане более перспективными являются методы с локальным порогом бинаризации.

Среди методов с локальным порогом бинаризации наиболее известны методы, предложенные такими авторами, как Эйквил (Eikvil), Бредли (Bradley), Рот (Poth), Бернсен (Bernsen), Ниблек (Niblack), Саувола (Sauvola), Сингх (Singh), Волф (Wolf). Для каждого метода определен свой способ вычисления порогового значения.

В методе, предложенном Бредли и Рота [5], исходное изображение делится на ряд областей d. После чего для каждой области вычисляется пороговое значение T по формуле

$$T = m \cdot (1 - t),$$

где m – среднее арифметическое яркости пикселей выделенной области, t – заданная константа.

Метод, предложенный Бернсеном [6], предполагает вычисление локального порога для каждой области D размера $R \times R$ по формуле

$$T = (f_{\min} + f_{\max}) / 2,$$

где $f_{\min}$, $f_{\max}$ – наименьшее и наибольшее значения яркостей пикселя в рассматриваемой области.

Если изменение параметра контраста $C = (f_{\max} - f_{\min})$ в области D превышает заданную константу eps, то, если $f(x, y) >= C$, то $B(x, y) = 1$, иначе

$B(x, y) = 0$. Если $C <$ eps, то все пиксели квадрата принадлежат фону или объекту.

Методом, предложенным Сауволой [7], вычисляется пороговое значение для каждого пикселя по формуле

$$T(x, y) = m(x, y) \cdot (1 - k \cdot (1 - s(x, y) / Rm)),$$

где $m(x, y)$ – среднее значение яркости пикселей в окрестности $R \times R$ рассматриваемого пикселя, $s(x, y)$ – среднеквадратичное отклонение в окрестности $R \times R$, Rm – максимальное отклонение, k – параметр, выбираемый из диапазона от 0,2 до 0,5.

Методом, предложенным Волфом [8], пороговое значение для каждого пикселя вычисляется по формуле

$$T(x, y) = (1 - k) \cdot m(x, y) + k \cdot f_{\min} + \\ + k \cdot s(x, y) / R_{\max} (m(x, y) - f_{\min}),$$

где $m(x, y)$ – среднее значение яркости пикселей в локальной области $R \times R$, $s(x, y)$ – среднеквадратичное отклонение в локальной окрестности рассматриваемой точки изображения, $R_{\max}$ – максимальное отклонение, $f_{\min}$ – минимальное значение яркости пикселей всего изображения, k – параметр, значение которого выбираемый из диапазона от 0,2 до 0,5.

В методе, предложенном Сингх [9], значение порога вычисляется для каждого пикселя исходного изображения по формуле

$$T(x, y) = k \cdot [m(x, y) + (I_{\max} - I_{\min}) \cdot (1 - f(x, y)],$$

где k – константа, $m(x, y)$ – среднее значение яркости пикселей в локальной области $R \times R$, $I_{\max}$, $I_{\min}$ – локальные максимальные и минимальные значения пикселей в локальной области, $f(x, y)$ – значение пикселя (x, y). Константа k выбирается из диапазона от 0 до 1.

В методе ВВРМ [10] пороговое значение $T(x, y)$ для бинаризации рассчитывается для каждого пикселя по формуле

$$T(x, y) = mb(x, y) (1 + K_c (d - 1)),$$

где $mb(x, y)$ – среднее значение пикселей блока вычисляется по формуле

$$mb(x, y) = 1 / 9 (f(x - c, y - c) + f(x - c, y + c) + \\ + f(x+c, y-c) + f(x+c, y+c) + f(x, y) + \\ + f(x-c, y) + f(x, y-c) + f(x, y+c) + f(x+c, y)),$$

$$d = S(x, y) - mb(x, y), \quad S(x, y) = f(x, y)^2 \cdot (K_s + 1) / Ks,$$

$$c = (R - 1) / 2.$$

Здесь K_c, K_s – константы ($K_s > 0$).

Бинаризация выполняется на основе сравнения порогового значения $T(x, y)$ каждого пикселя с величиной $S(x, y)$. Если $S(x, y) >= T(x, y)$, то $B(x, y) = 1$, иначе $B(x, y) = 0$. Берется локальная область размером, $R \times R$.

Метод Ника [11] производит вычисления локального порога бинаризации в локальной области $R \times R$. Пороговое значение вычисляется по формуле

$$T(x,y) = m + k\sqrt{\frac{\sum(p^2 - m^2)}{NP}}.$$

Здесь m – среднее значение яркости пикселей в локальной области $R \times R$, p – яркость i-го пикселя в локальной области, NP – количество пикселей в локальной области, k – коэффициент. Коэффициент k выбирается в пределах от –0,1 до –0,2. Бинаризация выполняется на основе сравнения яркости каждого пикселя с величиной порогового значения T.

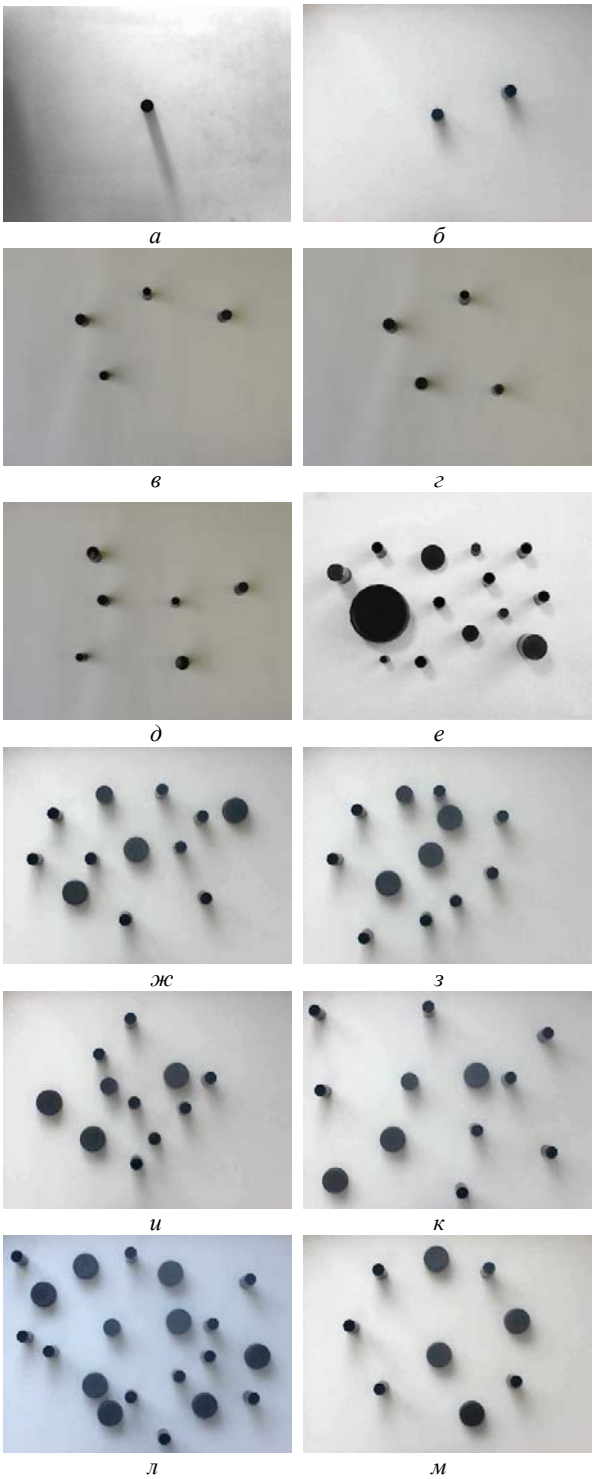


Рис. 1. Примеры изображений, использованные при анализе методов бинаризации

Для анализа методов бинаризации использовался набор изображений, примеры которых приведены на рис. 1. Все изображения, содержат объекты цилиндрической формы разного диаметра и высоты.

Бинарное изображение позволяет получить такие важные геометрические характеристики объектов, представляющие интерес для дальнейшего анализа, как площадь, занимаемая объектом на изображении, центр тяжести, длина периметра, центральные моменты второго порядка и т.д.

Так как площадь, занимаемая объектом, является одним из базовых показателей, проведем анализ методов бинаризации с точки зрения точности определения этого показателя.

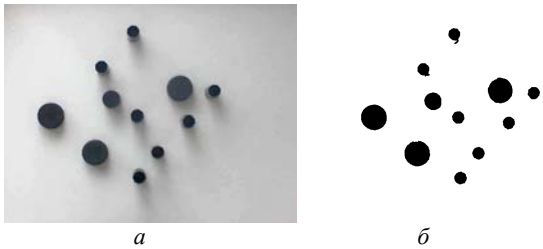
Методы Бредли, Бернсена, Эйквила и ВВРМ наиболее точно отнесли к объектам интереса области изображения, содержащие цилиндры с радиусом 28 пикселей. В среднем погрешность отнесения области изображения к объекту интереса составляла 104%. Причем для метода Эйквила отмеченная площадь составляла 100,5% от площади эталона, для метода Бредли – 101,4%, для метода Бернсена – 105,1% и для метода ВВРМ – 111,3%.

Площадь, занятую цилиндрами с радиусом 13 пикселей, эти методы определяли с погрешностью 112,75%. Причем для метода Эйквила отмеченная площадь составляла 99,5% от площади эталона, для метода Бредли – 123%, для метода Бернсена – 109% и для метода ВВРМ – 120%.

Методы Сауволы, Волфа, Сингха, Ника под цилиндры с радиусом 28 пикселей помечают намного меньшую площадь. В среднем выделяемая площадь составляет 47,7% от площади эталонного образца. Причем для метода Сауволы выделенная площадь составляет в среднем 81,1% от площади эталона, для метода Волфа – 17,4%, для метода Сингха – 33,5% и для метода Ника – 58,8%.

Для цилиндрических объектов радиуса 13 пикселей методы Сауволы, Волфа, Сингха, Ника выделяют область больше площади эталона. В среднем выделяемая площадь составляет 90,4% от площади эталонного образца. Причем, для метода Сауволы выделенная площадь составляет в среднем 123,6% от площади эталона, для метода Волфа – 54%, для метода Сингха – 88,3% и для метода Ника – 95,7%.

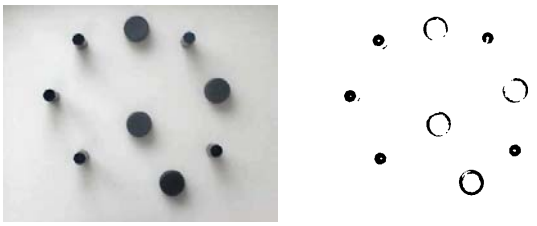
На рис. 2 приведен результат бинаризации изображения с помощью метода Эйквила. Погрешности в определении площади объектов возникают вследствие того, что тени могут быть помечены как объекты, а также боковые грани объемных объектов могут быть помечены как объекты. Подобная ситуация возникает при использовании телекамер с короткофокусным объективом.



а *б*

Рис. 2. Результат бинаризации изображения с помощью метода Эйквила: *а* – исходное изображение; *б* – бинарное изображение

Методы Волфа, Сингха, Ника дают большую погрешность при определении площади объектов с большой поверхностью. Это является следствием того, что внутренняя область объекта с большой поверхностью является малоконтрастной, а пороговое значение устанавливается ниже яркости пикселей в этой области. На рис. 3 приведен результат бинаризации изображения с помощью метода Ника.



а *б*

Рис. 3. Результат бинаризации изображения с помощью метода Ника: *а* – исходное изображение; *б* – бинарное изображение

На рис. 4 приведены графики изменения яркости пикселей изображения для 263-й строки и график изменения порогового значения, вычисленного для каждого пикселя с помощью метода Ника.

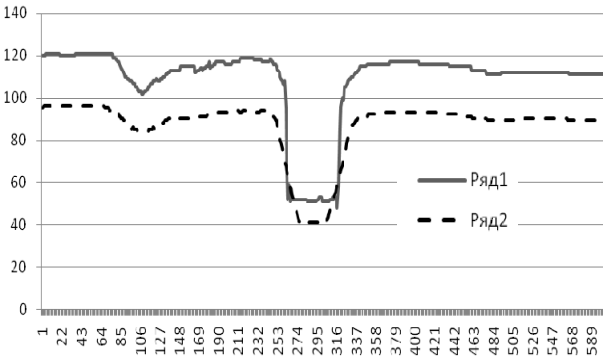


Рис. 4. Графики изменения яркости пикселей и величины порога для 263-й строки исходного изображения: ряд 1 – яркость пикселей исходного изображения; ряд 2 – величина порога

На участках изображения, свободных от объектов интереса, яркость пикселей значительно превышает значение порога, что обеспечивает отделение фона от объектов интереса. Во внутренней области объектов интереса пороговое значение также меньше яркости пикселей в этой области. Это приводит к тому, что пиксели внутренней области объекта с большой поверхностью помечаются как фон.

Заключение

Достоинством методов с локальным порогом бинаризации является вычисление порогового значения для локальной области бинаризуемого изображения. Это позволяет правильно отделить объекты интереса от фона при неравномерной освещенности. Среди анализируемых методов удовлетворительные результаты показали методы, предложенные Бредли, Бернсеном, Эйквилом и ВВРМ.

Наиболее близкие результаты к эталонным значениям показал метод, который предложил Эйквил.

К недостаткам методов, предложенных Волфом, Сингхом, Ником, относится отнесение к фону всех областей изображения с низким контрастом. Это приводит к тому, что внутренние области объектов интереса с большой поверхностью будут неправильно отнесены к фону.

Несмотря на выявленные недостатки методов, предложенных Волфом, Сингхом, Сауволой, Ником, эти методы позволяют выделить область, которая в дальнейшем может быть обработана специализированным алгоритмом для определения типа объекта, находящегося в выделенной области.

Литература

1. Корендясов А.И. Теоретические основы робототехники: в 2-х кн. / А.И. Корендясов, Б.П. Саламандра, Л.И. Тывес. – М.: Наука, 2006. – Кн. 2. – 376 с.

2. Хорн Б.К.П. Зрение роботов. – М.: Мир, 1989. – 487 с.

3. Техническое зрение роботов / под ред. А. Пью. – М.: Машиностроение, 1987. – 320 с.

4. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений. – М.: Техносфера, 2005. – 1072 с.

5. Bradley D., Roth G. Adaptive thresholding using the integral image // Journal of graphics tools. – 2007. – Vol. 12, № 2. – P. 13–21.

6. Bernsen J. Dynamic thresholding of gray level images // Proceedings of International Conference on Pattern Recognition (ICPR). – Paris, 1986. – P. 1251–1255.

7. Sauvola J., Pietikäinen M. Adaptive document image binarization // Document Analysis and Recognition. – 1997. – Vol. 1. – P. 147–152.

8. Wolf C., Jolion J-M. Extraction and Recognition of Artificial Text in Multimedia Documents // Pattern Analysis and Applications. – 2003. – Vol. 6, № 4. – P. 309–326.

9. Singh O.I., Sinam T., James O., Singh T.R. Local contrast and mean thresholding in image binarization // International Journal of Computer Applications. – 2012. – Vol. 51, No 6. – P. 4–10.

10. Singh O.I., Singh T.R. Image binarization using block boundary pixels mean / Journal of Computer Science. – 2017. – Vol. 13, № 11. – P. 667–673.

11. Khurshid K., Siddiqi I., Faure C., Vincent N. Comparison of Niblack inspired binarization methods for ancient documents // 16 th International conference on Document Recognition and Retrieval, USA. – 2009. – P. 1–10.

Горитов Александр Николаевич
Д-р техн. наук, профессор каф. АСУ ТУСУРа
Эл. почта: ang@asu.tusur.ru

УДК 519.711.3:519.237

Минь Дай Хо, С.В. Муравьев

Повышение точности оценки измеряемой величины на основе аддитивных совокупных измерений

Предложен основанный на параметрическом уравнивании метод аддитивного совокупного измерения (АСИ) для повышения точности результатов измерений произвольного происхождения. При этом параметрические уравнения связи (функции) являются линейными, а измеряемые величины аддитивны. Дано компактное описание параметрического метода уравнивания в матричной форме. Приведены рекомендации по формированию матрицы чувствительностей функций для метода АСИ. Рассмотрены результаты экспериментальной апробации применения метода АСИ для оценивания значений сопротивлений резисторов. Предложенный метод позволяет уменьшить неопределенности типа В результатов измерений, вызванные максимальной допустимой погрешностью цифровых средств измерений, в 1,8–4 раза по сравнению с методом непосредственной оценки.
Ключевые слова: совокупное измерение, параметрическое уравнивание, неопределенность типа В, аддитивность.

При совокупных измерениях решают задачу совместной обработки результатов измерений величин, связанных между собой функционально [1]. Вид функции может быть известен заранее или получен экспериментально. При совокупных измерениях проводят N измерений, причем $N > n$, где n – число неизвестных измеряемых величин. Избыточные измерения позволяют повысить точность оценок значений измеряемых величин, но приводят к несогласованности результатов измерений. В данной работе предложен метод повышения точности цифровых средств измерений (СИ) с помощью организации совокупных измерений и обработки их результатов параметрическим методом уравнивания (ПМУ), получившим распространение главным образом в области геодезических измерений [2].

Параметрический метод уравнивания

Пусть имеются n значений искомых измеряемых величин, представленных в векторной форме $\mathbf{X} = (x_1, x_2, \ldots, x_n)^T$. Эти измеряемые величины должны быть независимыми, т.е. не связанными между собой функциональными зависимостями. Для получения оценок значений искомых измеряемых величин число необходимых измерений должно равняться n. Проводятся все N, ($N > n$) измерений, соответствующих N известным функциям, связывающим измеряемые величины, причем $N - n$ избыточных измерений позволяют получить наилучшие оценки

значений измеряемых величин с повышенной точностью.

Обозначим вектор уравненных результатов измерений (значений функций) через $\mathbf{Y} = (y_1, y_2, \ldots, y_N)^{\mathrm{T}}$, где каждый элемент представляет собой параметрическое уравнение связи в виде функции f_i:

$$y_i = f_i(x_1, \ldots, x_n),\ i = 1, \ldots, N,\ N > n. \quad (1)$$

Так как в измерениях всегда присутствуют погрешности, вектор уравненных результатов измерений можно записать следующим образом:

$$\mathbf{Y} = \mathbf{Y^{(0)}} + \mathbf{\Delta Y}, \quad (2)$$

где $\mathbf{Y^{(0)}} = (y_1^{(0)}, y_2^{(0)}, \ldots, y_N^{(0)})^{\mathrm{T}}$ – вектор результатов измерений (измеренных значений функции); $\mathbf{\Delta Y} = (\delta y_1, \delta y_2, \ldots, \delta y_N)^{\mathrm{T}}$ – вектор поправок к результатам измерений $\mathbf{Y^{(0)}}$.

Разложив (1) в ряд Тейлора и ограничившись линейными членами разложения, получим

$$y_i = y_i^{(0)} + \delta y_i = \\ = \sum_{j=1}^{n} \delta x_j (\partial f_i / \partial x_j)_{x_j = x_j^{(0)}} + f_i(x_1^{(0)}, \ldots, x_n^{(0)}), \quad (3)$$

откуда

$$\delta y_i = \sum_{j=1}^{n} \delta x_j (\partial f_i / \partial x_j)_{x_j = x_j^{(0)}} + h_i, \quad (4)$$

где $h_i = f_i(x_1^{(0)}, x_2^{(0)}, \ldots, x_n^{(0)}) - y_i^{(0)}$ называются невязками.

Пусть $\mathbf{X^{(0)}} = (x_1^{(0)}, x_2^{(0)}, \ldots, x_n^{(0)})^{\mathrm{T}}$ – вектор приближенных значений измеряемых величин; $\hat{\mathbf{X}} = (\hat{x}_1, \hat{x}_2, \ldots, \hat{x}_n)^T$ – вектор наилучших (уравненных) оценок значений измеряемых величин; и $\mathbf{\Delta X} = (\delta x_1, \delta x_2, \ldots, \delta x_n)^{\mathrm{T}}$ – вектор поправок к приближенным значениям измеряемых величин. Тогда

$$\hat{\mathbf{X}} = \mathbf{X^{(0)}} + \mathbf{\Delta X}. \quad (5)$$

Обозначим вектор значений функций связи через $\mathbf{F^{(0)}} = (f_1^{(0)}, f_2^{(0)}, \ldots, f_N^{(0)})^{\mathrm{T}}$, где $f_i^{(0)} = f_i(x_1^{(0)}, x_2^{(0)}, \ldots, x_n^{(0)})$. Тогда вектор невязок записывается в матричном виде как

$$\mathbf{H} = \mathbf{F^{(0)}} - \mathbf{Y^{(0)}}. \quad (6)$$

Обозначим матрицу чувствительностей функций f_i через

$$\mathbf{K} = \begin{pmatrix} k_{11} & k_{12} & \ldots & k_{1n} \\ k_{21} & k_{22} & \ldots & k_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ldots & \vdots \\ k_{N1} & k_{N2} & \ldots & k_{Nn} \end{pmatrix},\ k_{ij} = \left(\frac{\partial f_i}{\partial x_j} \right)_{x_j = x_j^{(0)}}. \quad (7)$$

Тогда (3) и (4) записываются в матричном виде как

$$\mathbf{Y} = \mathbf{K} \cdot \mathbf{X} = \mathbf{K} \cdot \mathbf{\Delta X} + \mathbf{F^{(0)}}; \quad (8)$$

$$\mathbf{\Delta Y} = \mathbf{K} \cdot \mathbf{\Delta X} + \mathbf{H}, \quad (9)$$

а (6) принимает вид

$$\mathbf{H} = \mathbf{K X^{(0)}} - \mathbf{Y^{(0)}}. \quad (10)$$

Пусть диагональная матрица весов имеет вид

$$\mathbf{W} = \begin{pmatrix} s_1^{-2} & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & s_2^{-2} & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & s_N^{-2} \end{pmatrix} = \mathrm{diag}(s_1^{-2}, s_2^{-2}, \ldots, s_N^{-2}), \quad (11)$$

где каждый диагональный элемент w_{ii} равен обратной выборочной дисперсии s_i^2 результатов измерения $y_i^{(0)}$, недиагональные элементы равны 0, что означает независимость наблюдений. Матрица $\mathbf{W}$ является положительно определенной [3], обладающей свойством $\mathbf{W}^{\mathrm{T}} = \mathbf{W}$.

Пусть $\mathrm{cov}(\mathbf{Y^{(0)}})$ – матрица ковариации результатов измерений, тогда поскольку $\mathbf{W}^{0,5} = \mathrm{diag}(s_1^{-1}, s_2^{-1}, \ldots, s_N^{-1})$, $\mathbf{W}^{-0,5} = \mathrm{diag}(s_1, s_2, \ldots, s_N)$, $\mathbf{W}^{0,5}\mathbf{W}^{0,5} = \mathbf{W}$, имеем $\mathbf{W}^{-0,5}\mathbf{W}^{-0,5} = \mathbf{W}^{-1} = \mathrm{cov}(\mathbf{Y^{(0)}})$.

В (9) переменные $\mathbf{\Delta X}$ и $\mathbf{\Delta Y}$ неизвестны. Для решения этого уравнения воспользуемся методом взвешенных наименьших квадратов (ВМНК) [3] при следующем условии:

$$\Phi = \sum_{i=1}^{N} s_i^{-2} \cdot \delta y_i^2 = (\mathbf{W}^{0,5} \cdot \mathbf{\Delta Y})^{\mathrm{T}} (\mathbf{W}^{0,5} \cdot \mathbf{\Delta Y}) = \\ = \mathbf{\Delta Y}^{\mathrm{T}} \cdot \mathbf{W} \cdot \mathbf{\Delta Y} \to \min. \quad (12)$$

Условие (12) выполняется, если справедливо выражение [3]

$$\frac{\partial \Phi}{\partial \mathbf{\Delta X}} = \frac{\partial \Phi}{\partial \mathbf{\Delta Y}} \frac{\partial \mathbf{\Delta Y}}{\partial \mathbf{\Delta X}} = 2\mathbf{\Delta Y}^{\mathrm{T}} \cdot \mathbf{W} \cdot \mathbf{K} = 0, \quad (13)$$

откуда получаем

$$\mathbf{K}^{\mathrm{T}} \cdot \mathbf{W} \cdot \mathbf{\Delta Y} = 0. \quad (14)$$

Подставляя (9) в (14), получаем уравнение

$$\mathbf{K}^{\mathrm{T}} \mathbf{W K} \cdot \mathbf{\Delta X} + \mathbf{K}^{\mathrm{T}} \mathbf{W H} = 0, \quad (15)$$

решая которое, получаем вектор поправок к приближенным значениям измеряемых величин:

$$\mathbf{\Delta X} = -(\mathbf{K}^{\mathrm{T}} \mathbf{W K})^{-1} \mathbf{K}^{\mathrm{T}} \mathbf{W H}. \quad (16)$$

Подставляя (16) в (5), с учетом (10) получаем вектор наилучших оценок значений измеряемых величин

$$\hat{\mathbf{X}} = \mathbf{X^{(0)}} - (\mathbf{K}^{\mathrm{T}} \mathbf{W K})^{-1} \mathbf{K}^{\mathrm{T}} \mathbf{W} (\mathbf{K X^{(0)}} - \mathbf{Y^{(0)}}) \\ = (\mathbf{K}^{\mathrm{T}} \mathbf{W K})^{-1} \mathbf{K}^{\mathrm{T}} \mathbf{W Y^{(0)}}. \quad (17)$$

Из (8) и (17) вектор уравненных результатов измерений вычисляется следующим образом:

$$\mathbf{Y} = \mathbf{K} (\mathbf{K}^{\mathrm{T}} \mathbf{W K})^{-1} \mathbf{K}^{\mathrm{T}} \mathbf{W Y^{(0)}}. \quad (18)$$

Из (17) и (18) получаем матрицы ковариации оценок значений измеряемых величин и уравненных результатов измерений [3]:

$$\mathrm{cov}(\hat{\mathbf{X}}) = (\mathbf{K}^{\mathrm{T}} \mathbf{W K})^{-1} \mathbf{K}^{\mathrm{T}} \mathbf{W} \mathrm{cov}(\mathbf{Y^{(0)}}) \times \\ \times [(\mathbf{K}^{\mathrm{T}} \mathbf{W K})^{-1} \mathbf{K}^{\mathrm{T}} \mathbf{W}]^{\mathrm{T}} = (\mathbf{K}^{\mathrm{T}} \mathbf{W K})^{-1}; \quad (19)$$

$$\mathrm{cov}(\mathbf{Y}) = \mathbf{K} (\mathbf{K}^{\mathrm{T}} \mathbf{W K})^{-1} \mathbf{K}^{\mathrm{T}} \mathbf{W} \cdot \mathrm{cov}(\mathbf{Y^{(0)}}) \times \\ \times (\mathbf{K} (\mathbf{K}^{\mathrm{T}} \mathbf{W K})^{-1} \mathbf{K}^{\mathrm{T}} \mathbf{W})^{\mathrm{T}} = \mathbf{K} (\mathbf{K}^{\mathrm{T}} \mathbf{W K})^{-1} \mathbf{K}^{\mathrm{T}}. \quad (20)$$

Оценки (17) и (18) являются приближенными, если функция f_i нелинейна. Поэтому при организации совокупных измерений следует стремиться по возможности обеспечивать линейную зависимость f_i от значений измеряемых величин, т.е.

$$f_i(x_1, x_2, \ldots, x_n) = k_{i1}x_1 + k_{i2}x_2 + \ldots + k_{in}x_n, \quad (21)$$

где k_{ij} ($j = 1, \ldots, n$) – известные коэффициенты. При этом измеряемая величина должна быть (*i*) аддитивной, т.е. такой, что ее разные значения могут быть сложены, разделены друг на друга или умножены на числовой коэффициент [4], и (*ii*) с точки зрения практической реализуемости совокупных измерений

следует отдавать предпочтение двоичным значениям коэффициентов k_{ij}, т.е. $k_{ij} \in \{0, 1\}$.

Совокупные измерения на основе ПМУ

ПМУ можно распространить на обработку результатов измерений произвольного происхождения путем организации избыточных совокупных измерений исследуемых величин, удовлетворяющих условиям (*i*) и (*ii*). Назовем этот подход аддитивными совокупными измерениями (АСИ). При этом число возможных функций (параметрических уравнений связи) равно $N = 2^n - 1$. Матрица чувствительности (7) состоит из элементов 1 и 0.

Матрица **K** фактически задает последовательность (план) проведения измерений, когда в каждом *i*-м опыте измеряется *i*-я величина, значение которой равно сумме значений величин x_j, имеющих коэффициент $k_{ij} = 1$, т.е.

$$y_i = \sum_{j=1}^{n} k_{ij} \cdot x_j,\ k_{ij} = 1,\ i = 1, ..., N. \qquad (22)$$

Надлежащее планирование позволяет также минимизировать эффект гистерезиса и корреляцию между результатами измерений. Для этого воспользуемся предложенным в работе [5] подходом, в котором порядок измерений предполагает поочередное увеличение и уменьшение последовательных значений y_i. Для этого строки матрицы чувствительности (7) удобно представлять последовательным *n*-разрядным кодом Грея. Тогда каждые две соседние строки матрицы отличаются друг от друга единственным элементом.

Например, для $n = 3$, $N = 7$ матрица последовательности имеет вид:

$$\mathbf{K} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \end{pmatrix}^{\mathrm{T}}. \qquad (23)$$

В этом случае (21) имеет вид

$$\begin{cases} y_1 = x_3;\ y_2 = x_2 + x_3;\ y_3 = x_2;\ y_4 = x_1 + x_2, \\ y_5 = x_1 + x_2 + x_3;\ y_6 = x_1 + x_3;\ y_7 = x_1. \end{cases} \qquad (24)$$

В качестве приближенных значений измеряемых величин примем результаты трех необходимых измерений каждой измеряемой величины, т.е. $\mathbf{X^{(0)}} = (x_1^{(0)}, x_2^{(0)}, x_3^{(0)})^{\mathrm{T}} = (y_7^{(0)}, y_3^{(0)}, y_1^{(0)})^{\mathrm{T}}$. Для этого примера векторы оценок $\hat{\mathbf{X}}$ и **Y**, матрицы ковариации $\mathrm{cov}(\hat{\mathbf{X}})$ и $\mathrm{cov}(\mathbf{Y})$ можно вычислить по формулам (17)–(20). Неопределенности оценок значений измеряемых величин $u(\hat{x}_j)$ и уравненных результатов измерений $u(y_i)$ рассчитываются как корень квадраный из диагональных элементов матриц $\mathrm{cov}(\hat{\mathbf{X}})$ и $\mathrm{cov}(\mathbf{Y})$ соответственно.

Уменьшение неопределенности типа B методом АСИ

Рассмотрим применение предложенного в предыдущем разделе метода АСИ к задаче уменьшения неопределенности результата измерения типа B. Пусть имеются три резистора R_1, R_2 и R_3, значения сопротивлений x_1, x_2 и x_3 которых нужно оценить. Очевидно, сопротивление последовательных соединений резисторов является аддитивной величиной.

В методе непосредственной оценки (МНО) сопротивления резисторов R_1, R_2, R_3 прямо измеряются мультиметром. Полученные результаты измерений, включающие погрешности, считаются оценками значений сопротивлений x_1, x_2 и x_3.

Согласно [4], каждый результат измерения характеризуется значением $\Delta_д$, равным максимальной допустимой погрешности (МДП), и погрешностью показания $\Delta_п$, имеющей равномерное распределение. Таким образом, свидетельство о калибровке гарантирует, что погрешность $\Delta_п$, включающая систематическую и случайную составляющие, находится в пределах $\pm\Delta_д$ (см. рис. 1).

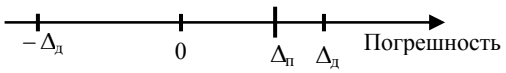


Рис. 1. Погрешности $\Delta_д$ и $\Delta_п$

В соответствии с руководством [6] оценку неопределенности результата измерения типа B получают путем анализа всей доступной информации о возможной вариативности измеряемой величины. Эта информация включает данные из свидетельства о калибровке или паспорта прибора. Таким образом, неопределенность, вызванная МДП, считается составляющей неопределенности типа B и определяется по формуле [7]

$$u_{\mathrm{B}} = \Delta_д / \sqrt{3}. \qquad (25)$$

Применяя метод АСИ, можно оценить значения x_1, x_2 и x_3 и уменьшить их неопределенности по сравнению с МНО. Для этого, помимо трех измерений сопротивлений отдельных резисторов R_1, R_2, R_3, проведем измерения сопротивлений всех возможных последовательных соединений резисторов. Таким образом, количество необходимых измерений (неизвестных измеряемых величин) $n = 3$; количество всех измерений $N = 7$; количество избыточных измерений равно 4, из которых должны быть проведены три измерения сопротивлений возможных разных последовательных соединений двух резисторов и одно измерение последовательного соединения трех резисторов. Порядок измерений организуем в соответствии с (23). Система параметрических уравнений связи имеет вид (24).

Номинальные значения сопротивлений резисторов R_1, R_2 и R_3 были выбраны равными 4420, 1100 и 100 Ом соответственно. Прецизионные резисторы R_1 и R_2 были типа С5-54 с наибольшей мощностью 0,125 Вт и ТКС $\pm 10\times10^{-6}$ ℃$^{-1}$, а R_3 – катушка электрического сопротивления измерительная Р331, имеющая наибольшую допустимую мощность 1 Вт. Класс точности всех резисторов – 0,01.

Сопротивления каждого резистора и всех их возможных соединений измерялись непосредственно и однократно с помощью цифровых мультиметров двух типов различной точности: UT61E ($\Delta_д$ = 1,2% + 2) и АМ-1097 ($\Delta_д$ = 0,05% + 10) – для того, чтобы оценить влияние точности используемого СИ на эффективность уменьшения неопределенности.

Результаты измерений $y_i^{(0)}$ получены с учетом поправок на сопротивление щупов. Неопределенности u_i вычислялись по (25). Эти данные сведены в таблицу для мультиметра АМ-1097.

Экспериментальные данные для АМ-1097

i	$y_i^{(0)}$, Ом	u_i, Ом	y_i, Ом	$u(y_i)$, Ом
1	99,99	0,1	99,99	0,10
2	1199,65	0,64	1199,68	0,44
3	1099,75	0,61	1099,69	0,44
4	5517,95	4,48	5519,10	1,13
5	5617,95	4,51	5619,09	1,12
6	4519,55	1,6	4519,40	1,06
7	4419,55	1,57	4419,41	1,06

Из таблицы имеем: $\mathbf{X^{(0)}} = (4419{,}55, 1099{,}75, 99{,}99)^T$, $\mathbf{Y^{(0)}}$ = (99,99; 1199,65; 1099,75; 5517,95; 5617,95; 4519,55; 4419,55)^T, $\mathbf{W}$ = diag(0,1^{-2}; 0,64^{-2}; 0,61^{-2}; 4,48^{-2}; 4,51^{-2}; 1,6^{-2}; 1,57^{-2}).

Применяя (17), получаем оценки сопротивлений резисторов: $\hat{x}_1 = 4419{,}414$ Ом, $\hat{x}_2 = 1099{,}685$ Ом и $\hat{x}_3 = 99{,}989$ Ом.

Для расчета матрицы ковариации оценок измеряемых сопротивлений, применяя (19), получаем

$$\mathrm{cov}(\hat{\mathbf{X}}) = \begin{pmatrix} 1{,}121 & -0{,}019 & -0{,}004 \\ -0{,}019 & 0{,}194 & -0{,}005 \\ -0{,}004 & -0{,}005 & 0{,}010 \end{pmatrix}.$$

Отсюда неопределенности оценок значений измеряемых величин равны: $u(\hat{x}_1) = 1{,}056$ Ом, $u(\hat{x}_2) = 0{,}439$ Ом, $u(\hat{x}_3) = 0{,}103$ Ом.

Вектор уравненных результатов измерений определяли по (18), его элементы представлены в 4-ом столбце таблицы. Матрица ковариации уравненных результатов измерений cov(**Y**) вычисляли по (20). Полученные неопределенности $u(y_i)$ показаны в 5-м столбце таблицы.

Аналогично для мультиметра UT61E были получены следующие результаты: $\hat{x}_1 = 4415{,}804$ Ом, $\hat{x}_2 = 1097{,}917$ Ом и $\hat{x}_3 = 100{,}009$ Ом; $u(\hat{x}_1) = 10{,}098$ Ом, $u(\hat{x}_2) = 2{,}726$ Ом, $u(\hat{x}_3) = 0{,}351$ Ом; $y_1 = 100{,}009$ Ом, $y_2 = 1197{,}927$ Ом, $y_3 = 1097{,}917$ Ом, $y_4 = 5513{,}722$ Ом, $y_5 = 5613{,}731$ Ом, $y_6 = 4515{,}814$ Ом, $y_7 = 4415{,}804$ Ом; $u(y_1) = 0{,}35$ Ом, $u(y_2) = 2{,}73$ Ом, $u(y_3) = 2{,}73$ Ом, $u(y_4) = 10{,}16$ Ом, $u(y_5) = 10{,}15$ Ом, $u(y_6) = 10{,}10$ Ом, $u(y_7) = 10{,}10$ Ом.

На рис. 2 для сравнения показаны графики неопределённостей уравненных результатов измерений, полученных методом АСИ, с результатами, полученными МНО, для мультиметров АМ-1097 (*а*) и UT61E (*б*).

Из рисунков видно, что неопределенности оценок значений сопротивления каждого резистора $u(\hat{r}_j)$ и уравненных результатов измерений $u(y_i)$, полученных методом АСИ, уменьшаются по сравнению с результатами, полученными МНО. Резистор R_1 с наибольшим номинальным значением 4420 Ом дает наилучшую эффективность, т.к. неопределенность оценки его сопротивления уменьшается в 1,8 раза как для АМ-1097, так и для UT61E. Для R_2 (1100 Ом) и R_3 (100 Ом) выигрыш составляет 1,6 и 1,2 раза соответственно.

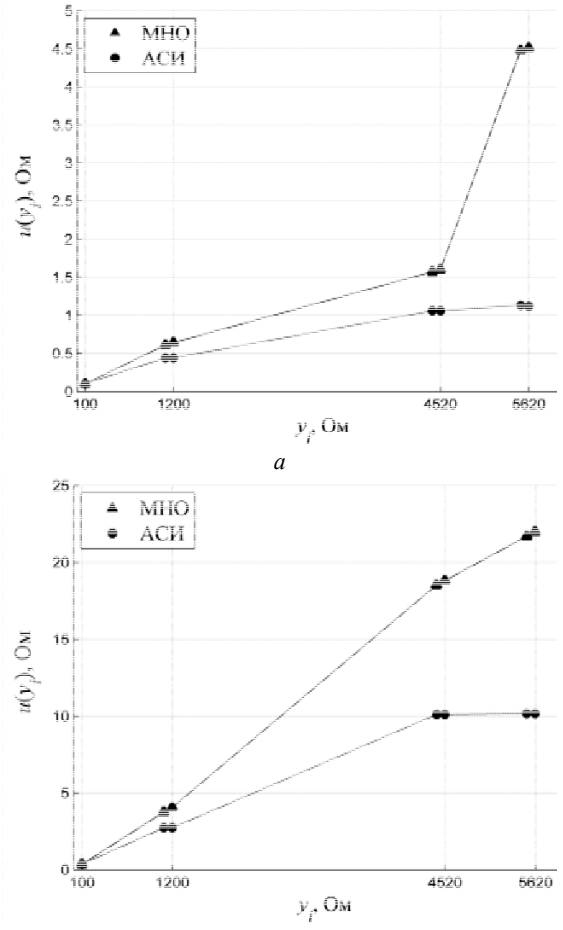


Рис. 2. Неопределенности уравненных результатов измерений, полученных методом АСИ, с результатами, полученными МНО UT61E – *а*; 4АМ-1097 – *б*

При увеличении значений измеряемых сопротивлений неопределенности $u(y_i)$ значительно уменьшаются. Для мультиметра АМ-1097, при наибольшем сопротивлении (при последовательном соединении трех резисторов) неопределенность уменьшается в 4 раза, а для UT61E – в 2,2 раза.

Таким образом, результаты эксперимента подтвердили работоспособность и эффективность метода АСИ.

Заключение

В данной работе предложен основанный на ПМУ метод АСИ, который позволяет повысить точность результатов измерений. При этом функции уравнивания линейно зависят от значений измеряемых величин. Этот метод эффективен, когда измеряемая величина является аддитивной.

Проведена экспериментальная апробация метода АСИ для измерения сопротивлений трех резисторов при снижении неопределенности результатов измерений типа В, вызванной МДП. Неопределенности оценок значений сопротивления каждого резистора и выровненных результатов измерений, полученных методом АСИ, меньше результатов, полу-

ченных МНО. Экспериментальные результаты показали, что резистор с наибольшим номинальным значением сопротивления дает наилучшую эффективность, оценка его значения методом АСИ уменьшает в 1,8 раза. Неопределенности выровненных результатов измерений, полученных методом АСИ, значительно уменьшаются при увеличении значений измеряемых сопротивлений, достигая уменьшения в 4 раза для мультиметра АМ-1097 и 2,2 раза для мультиметра UT61E.

Литература

1. Рабинович С.Г. Погрешности измерений. – Л.: Энергия, 1978. – 262 с.

2. Большаков В.Д. Теория математической обработки геодезических измерений / В.Д. Большаков, П.А. Гайдаев. – М.: Недра, 1977. – 367 с.

3. Кремер Н.Ш. Эконометрика / Н.Ш. Кремер, Б.А. Путко. – М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2002. – 311 с.

4. РМГ 29–2013. Государственная система обеспечения единства измерений. Метрология. Основные термины и определения. – Введ. 2015-01-01. – М.: Стандартинформ, 2014. – 60 с.

5. White D.R., Clarkson M.T., Saunders P., Yoon H.W. A general technique for calibrating indicating instruments // Metrologia. – 2008. – Vol. 45, No. 2. – P. 199–210.

6. ГОСТ Р 54500.3–2011. Руководство ИСО/МЭК 98-3:2008. Неопределенность измерения. Ч. 3: Руководство по выражению неопределенности измерения. – Введ. 2012-10-01. – М.: Стандартинформ, 2012. – 107 с.

7. OIML G 19:2017 (E) The role of measurement uncertainty in conformity assessment decisions in legal metrology. – International Organization of Legal Metrology, 2017. – 72 p.

Хо Минь Дай
Аспирант ОАР НИ ТПУ
Эл. почта: minhdai2410@gmail.com

Муравьев Сергей Васильевич
Д-р техн. наук, профессор ОАР НИ ТПУ
Эл. почта: muravyov@tpu.ru

УДК 528.873

М.Ю. Катаев, В.В. Холодарь

Сайт Центра космического мониторинга Земли ТУСУР

Исследуются технологии создания Web-сайта. В современном мире, с постоянно растущей тенденцией увеличения web-ресурсов, для большинства людей становится удобнее узнавать всю необходимую информацию о различных ресурсах и компаниях посредством сети Интернет. Это касается как всевозможных развлекательных ресурсов, так и информационных различного характера. Учитывая тот факт, что интерес к возможности узнавать о процессах, происходящих на планете, возрастает ввиду своей актуальности, например, желание быть проинформированным о различных изменениях географической обстановки, возникает необходимость в наличии источников информации из первых рук в режиме онлайн. Подобные источники могут позволить получать необходимые данные о текущих изменениях окружающей среды и дают возможность быть предупрежденным о возникающих ситуациях и предупредить последствия. Наиболее приемлемым и информативным объектом получения необходимых данных в этом случае является спутниковая информация. Предметом данной статьи является разработка сайта Центра космического мониторинга Земли.

Ключевые слова: дистанционное зондирование земли, спутниковые данные, web-сайт, база данных, html, css, Django.

Спутниковая информация отличается точностью, надежностью и объективностью. Данные спутникового мониторинга и снимки земной поверхности со спутника представляют собой документы, технология получения которых значительно затрудняет возможность измерений. Результаты измерений необходимы для решения многих практических задач умного города.

Космические системы мониторинга используют для решения различных научных и прикладных задач, связанных с исследованием и контролем природных и антропогенных явлений, процессов и объектов. Во многих отраслях, таких как метеорология, океанология, картография, сельское и лесное хозяйство и др., спутниковые данные являются незаменимыми источниками информации.

Важное значение как средство осуществления космического мониторинга занимает дистанционное зондирование, опирающееся на сеть наземных наблюдений. Структура космического мониторинга представляет собой распределённую систему, включающую в качестве независимых, но связанных между собой: хранилище данных, систему контроля, систему динамических оценок и прогнозирования, систему управления, ИС обработки данных мониторинга.

В настоящее время для человечества остро встал вопрос состояния окружающей среды. Стремительное ухудшение экологической обстановки, состояния почвы, водных ресурсов, уничтожение лесных массивов по причине вырубки, лесных пожаров привели к тому, что привычные принципы

мониторинга данных процессов дают наименее эффективные результаты по контролю обстановки в области отслеживания происходящих изменений в природе планеты. В современном мире покоренного космоса с его обилием спутников, которые представляют собой сложнейшие высокотехнологичные устройства, на передний план выходит мониторинг различного характера с помощью искусственных спутников Земли.

Постановка задачи

В рамках ТУСУР было принято решение о создании собственной системы космического мониторинга Земли. Необходимость заключалась в следующих причинах:

1. Ввиду отсутствия собственной системы – запросы в сторонние источники информации, компании, специализированные на зондировании земной поверхности с применением спутников. Зачастую в построенном таким образом процессе работы получение информации, необходимой для исследований, невозможно в срочном порядке или информация в итоге имеет ограниченный характер использования и неполный набор данных.

2. Ряд современных систем мониторинга Земли не предполагают передачу и демонстрацию данных в режиме реального времени, либо возможность доступа к онлайн-системам космического зондирования и анализа ограничена или по запросу.

3. Использование сторонних систем в образовательных целях сопряжено с трудностями согласования процесса сотрудничества. Наличие собственной разработки на базе университета облегчает образовательный процесс и позволяет демонстрировать различные аспекты изменения окружающей среды.

Логическая структура сайта

Структура сайта – основа для выстраивания последовательности и формы отображения имеющихся данных на сайте. При правильной структуре сайта, пользователи получают возможность максимально удобного перехода от одной страницы к другой для получения необходимых сведений.

В основе сайта лежит наиболее универсальный тип структуры – древовидный. Её смысл заключается в том, что для каждого раздела имеется собственная ветка, а для каждого подраздела – своё ответвление. Эта структура позволяет передавать дополнительный вес как на главную, так и на разделы. В итоге каждая страница будет ссылаться не только на главную (рис. 1), но и на свои подразделы (рис. 2).

Структура сайта Центра космического мониторинга Земли состоит из 6 основных разделов:

1. Главная страница – самая первая страница, на которой оказывается пользователь при переходе на web-сайт.

Основная функция: привлечение внимания целевой аудитории и конвертация пользователей в реальных клиентов.

Возможные действия с главной страницей: просмотр информации, переход на другие страницы.

2. Новости – новостная лента – формат данных, используемый для доставки пользователям часто обновляемой информации.



Рис. 1. Главная страница сайта

Это необходимая актуальная информация, которая показывает пользователю, что Центр живёт в стабильном ритме, развивается и продолжает свою деятельность.

Возможные действия с новостной лентой: просмотр информации, чтение статей.

3. Работа Центра – наначение данной страницы сайта – ознакомительное. В процессе изучения подразделов пользователь получает объём информации, с помощью которой он может получить достаточное количество сведений о Центре для формирования личного представления о данном ресурсе.

Возможные действия с разделом «Работа центра»: просмотр информации, создание запроса на обратную связь в подразделе «Сотрудничество».

4. О дистанционном зондировании.

Возможные действия с разделом «О дистанционном зондировании»: просмотр информации, скачивание/чтение электронной тематической литературы, просмотр/скачивание спутниковых изображений.

5. Программы.

Возможные действия с разделом «Программы»: просмотр информации, использование личных разработок и бесплатно распространяемых программ.

6. Информация.

Диаграмма вариантов использования

Визуальное моделирование в UML можно представить как некоторый процесс поуровневого спуска от наиболее общей и абстрактной концептуальной модели исходной системы к логической, а затем и к физической модели соответствующей програм-мной системы. Для достижения этих целей вначале строится модель в форме так называемой диаграммы вариантов использования, которая описывает функциональное назначение системы, или, другими словами, то, что система будет делать в процессе своего функционирования. Диаграмма вариантов использования является исходным концептуальным представлением или концептуальной моделью системы в процессе ее проектирования и разработки (рис. 3).

Конструкция или стандартный элемент языка UML-вариант использования применяется для спецификации общих особенностей поведения системы или любой другой сущности предметной области без рассмотрения внутренней структуры этой сущности. Каждый вариант использования определяет последовательность действий, которые должны быть выполнены проектируемой системой при взаимодействии ее с соответствующим актером. Диаграмма вариантов может дополняться пояснительным текстом, который раскрывает смысл или семантику составляющих ее компонентов. Такой пояснительный текст получил название примечания или сценария.

Диаграмма последовательности

Диаграмма последовательности – диаграмма, на которой для определенного набора объектов на единой временной оси показан жизненный цикл какого-либо объекта и взаимодействие актеров в рамках определённого прецедента (рис. 4).

Основными элементами диаграммы последовательности являются обозначения объектов (прямоугольники с названиями объектов), вертикальные «линии жизни» отображающие течение времени, прямоугольники, отражающие деятельность объекта или исполнение им определенной функции (прямоугольники на пунктирной «линии жизни»), и стрелки, показывающие обмен сигналами или сообщениями между объектами.



Рис. 2. Логическая структура сайта

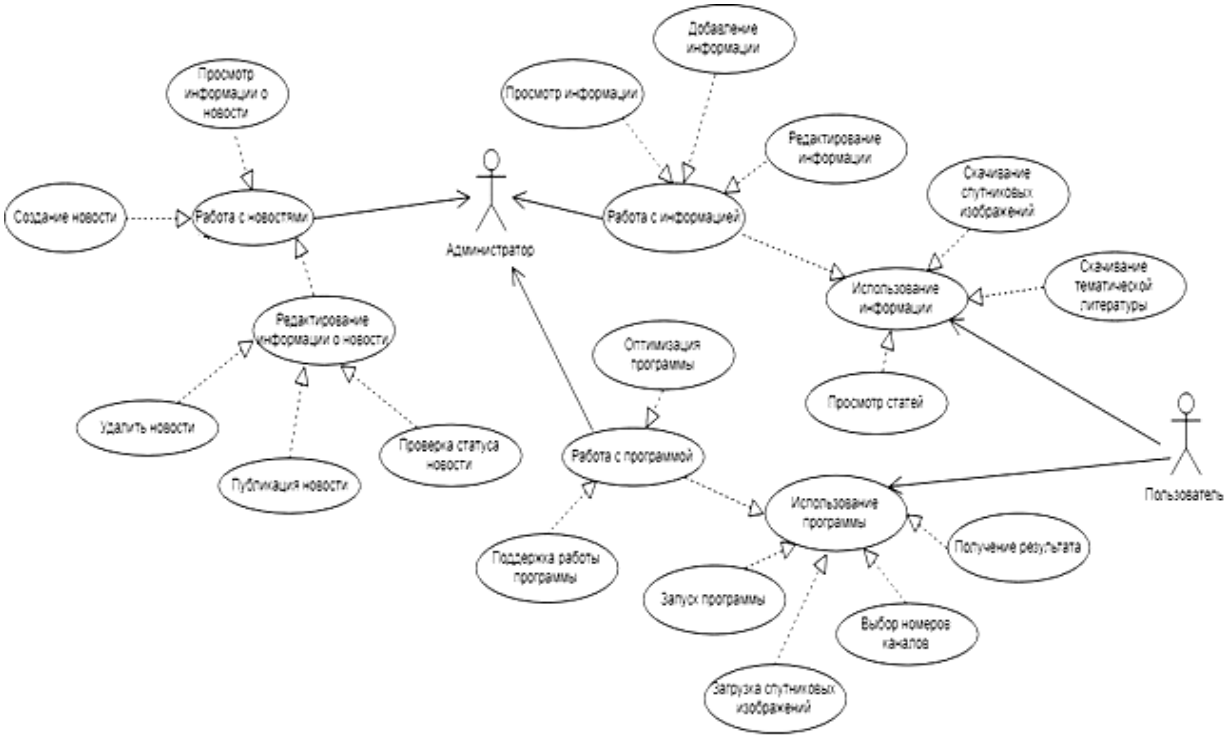


Рис. 3. UML-диаграмма вариантов использования

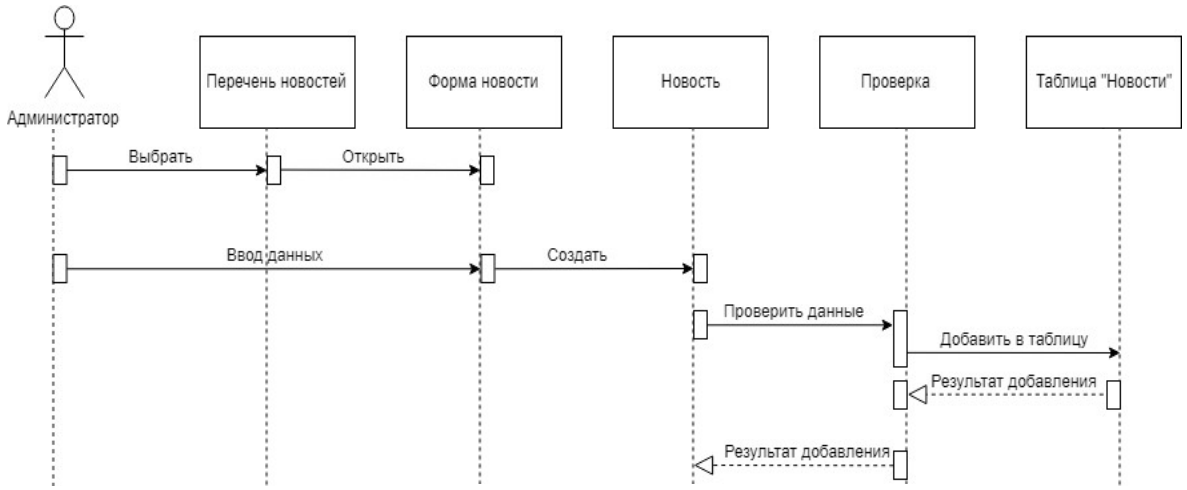


Рис. 4. UML-диаграмма последовательности на примере создания новости

На данной диаграмме объекты располагаются слева направо.

Диаграммы последовательностей используются для уточнения диаграмм прецедентов, более детального описания логики сценариев использования.

Результаты

На основе разработанной структуры сайта были сформированы макеты страниц сайта. Так же была произведена вёрстка сайта по данному макету, подобран дизайн.

Заключение

Была сформирована структура, на основе которой был разработан макет сайта и произведена его вёрстка с использованием HTML5, CSS и DJANGO.

Полученный сайт позволит всем желающим получать интересующую их тематическую информацию.

Литература

1. HTML [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://zarabotat-na-sajte.ru/wiki/html.html

2. Справочник по HTML [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://htmlbook.ru/html

3. Справочник CSS [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://htmlbook.ru/css

4. CSS [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://semantica.in/blog/css.html

5. JavaScript [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.javascript.com/

6. Дистанционное зондирование Земли [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki?curid=105242

7. Учебный курс по программированию на PHP [Электронный ресурс]. – http://www.kurepin.ru/php/

8. Губин В.Н. Дистанционные методы в геологии: учеб. пособие для студентов спец. I 51 01 01 «Геология и разведка месторождений полезных ископаемых» − Мн.: БГУ, 2004.− 138 с.

9. Кашкин В.Б. Цифровая обработка аэрокосмических изображений. Версия 1.0: электрон. учеб. пособие / В.Б. Кашкин, А.И. Сухинин. – Электрон. дан. (электрон. опт. диск). – Красноярск: ИПК СФУ, 2008.

10. Ерохин Г.Н. Информационно-космические технологии для экологического анализа воздействий нефтедобычи на природную среду: аналит. обзор / Г.Н. Ерохин, В.Н. Копылов, Ю.М. Полищук, О.С. Токарева; ГПНТБ СО РАН, ИХН СО РАН, ЮНИИ ИТ; науч. ред. В.А. Крутиков. – Сер.: Экология. – Вып. 71. – Новосибирск, 2003. – 98 с.

11. Веб-фреймворк Django (Python) [Электронный ресурс]. – https://developer.mozilla.org/ru/docs/Learn/Server-side/Django

---

Катаев Михаил Юрьевич
Д-р техн. наук, профессор каф. АСУ ТУСУРа
Эл. почта: kmy@asu.tusur.ru

Холодарь Валентина Владимировна
Студент каф. АСУ ТУСУРа
Эл. почта: valentina.kholodar@gmail.com

УДК 528.873

М.Ю. Катаев, А.А. Вертеев

Методики обработки данных спутникового прибора Landsat 8

Исследуются методы обработки спутниковых данных прибора Landsat-8. Изображения, синтезируемые на основе спектральных каналов с пространственным разрешением 30 м, малопригодны для визуальной дешифрации. В процессе кластеризации определение верных характеристик поверхности при использовании спутниковых данных является сложной задачей, так как своё влияние оказывают тип рельефа, атмосферные явления, такие как дымка и облачность, сезонные изменения, а также пересечение различных типов поверхности в одном пикселе. Предметом данной статьи является изучение методов панхроматического слияния и кластеризации.

Ключевые слова: дистанционное зондирование, обработка спутниковых данных, паншарпенинг, кластеризация изображений.

На данный момент отмечается усиливающееся внимание к изучению Земли из космоса. Такие наблюдения актуальны для определения долгосрочных прогнозов погоды и отслеживания изменения климата. Из-за возрастающих масштабов деятельности человека возникают проблемы загрязнения атмосферы, океана, земной поверхности, изменение облика земной поверхности. Такая деятельность негативно влияет на климат. Это создаёт необходимость систематического слежения за состоянием природной среды.

Важное значение имеет информационное обеспечение общества данными о состоянии и изменении окружающей среды. Наблюдение возможно с наземных пунктов, но часто это оказывается неэффективным и требует большого количества ресурсов. Космические технологии сбора данных позволяют получать более точные параметры окружающей среды. Получаемые спутниковые данные проходят несколько этапов обработки: предварительную, тематическую и анализ.

Существует множество методов для проведения предварительной обработки. Большинство из них учитывают только индивидуальные особенности спутников. Тематическая обработка делится по группам, связанным с типом каналов, разрешением снимка и по другим признакам. Одним из наиболее используемых видов обработки является синтез изображений, основанный на особенностях спектральных каналов. Анализ возможно проводить независимо для каждого изображения.

Важную роль при анализе занимает визуальная дешифрация изображения, позволяющая оценивать изменения земной поверхности, например, в военных целях. Получаемые простым синтезом снимки обладают низким пространственным разрешением, из-за чего не всегда удаётся точно определить параметры наземного объекта.

Вторым важным направлением исследований является кластеризация изображений – процесс выделения определённых типов поверхностей. Собирая информацию о земной поверхности на протяжении нескольких лет, можно проводить анализ изменений состояния земной поверхности, например пересыхания рек.

Постановка задачи

Дистанционное зондирование Земли характеризуется следующими типами пространственных разрешений: низкое (более 100 м), среднее (10–100 м), высокое (менее 10 м). Снимки с низким пространственным разрешением охватывают большие площади земной поверхности и используются для отслеживания лесных пожаров и в метеорологии. Снимки со средним пространственным разрешением применяются для мониторинга состояния окружающей среды. Снимки с высоким разрешением используются для военной разведки и с целью топографического картографирования. Они позволяют анализировать пространство с высокой точностью [1].

Для повышения пространственного разрешения необходимо использовать информацию панхроматического канала спутника Landsat 8, которое обладает пространственным разрешением 15 м, в то время как остальные спектральные каналы имеют разрешение 30 м. Существует несколько методов повышения пространственного разрешения, нами был выбран метод, использующий преобразование в цветовое пространство LAB.

Кластеризация спутниковых изображений заключается в разбиении изображений на несколько непересекающихся областей. Для этого используется информация о близости их спектральных и индексных характеристик. Определение верных характеристик поверхности при использовании спутниковых данных является сложной задачей, так как своё влияние оказывают тип рельефа, атмосферные явления, такие как дымка и облачность, сезонные изменения, а также пересечение различных типов поверхности в одном пикселе.

В настоящее время существует и широко используются несколько методов кластеризации, позволяющих разбивать спутниковые изображения на классы, которые соответствуют различным видам поверхностей, таким как вода, лес, поля и др. Выбор метода кластеризации связан с их эффективностью при решении конкретной задачи.

При выполнении кластерного анализа неизвестны сведения о количестве типов поверхности. Существующее программное обеспечение, такое как ENVI [www.mapinfo.ru], ERDAS Imagine [www.mapinfo.ru/product/erdas], Multispec [hengineering.purdue.edu/~biehl/MultiSpec/], позволяют решать задачи кластеризации различных спутниковых приборов, учитывают характеристики исследуемой поверхности и состояние атмосферы. Данные программные комплексы являются сложными для освоения, и для получения качественного результата требуется подробное изучение их возможностей и различных инструкций.

Был выбран метод кластеризации, основанный на различных отражающих свойствах разных типов поверхностей.

Спутник Landsat 8

Программа Landsat – один из наиболее продолжительных проектов по получению снимков Земли. Первый спутник данной программы был запущен в 1970 г.

Landsat-8 регистрирует информацию в видимом диапазоне волн, в ближнем и дальнем инфракрасном диапазоне. Разрешение данных диапазонов составляет от 15 до 100 м на точку. В сутки снимается 400 сцен.

Спутник оснащён сенсорами OLI и TIRS.

Сенсор OLI работает в девяти спектральных диапазонах, часть из которых применялась в предыдущих спутниках программы Landsat, благодаря чему обеспечивается совместимость с ранее собранными данными.

Спектральные каналы приборов Landsat позволяют выделять разнообразные типы поверхности, в том числе и наземную растительность [2].

Панхроматическое слияние

Панхроматическое слияние, или паншарпенинг, – процедура увеличения пространственного разрешения. Панроматический канал охватывает диапазон синего, красного и зелёного канала, за счёт получения большего количества отражённого цвета, изображение панхроматического канала имеет более высокое разрешение (15 м на пиксель), в то время как отдельные спектральные каналы имеют разрешение 30 м на пиксель.

Данный метод используется для получения более детального изображения, синтезированного в естественных цветах, что позволяет повысить качество визуального дешифрования [3, 4].

Существует несколько методов панхроматического слияния:

1. Метод преобразования Бровея основан на предположении того, что спектральный диапазон панхроматического канала совпадает с диапазонами мультиспектральных данных. Данное преобразование основано на методе, в котором значение яркости каждого пикселя изображения делится на сумму яркостей всех зон мультиспектрального изображения и полученный результат умножается на значения яркости соответствующего пикселя панхроматического канала. Преобразование выполняется по формуле

$$\{R, G, B\} = \{R, G, B\}/(R + G + B)*Pan, \quad (1)$$

где {R, G, B} – цветовые компоненты; Pan – яркость пикселей панхроматического канала.

2. Перевод в цветовое пространство LAB.

Цветовое пространство Lab состоит из трёх каналов: *L* (Lightness) – определяет координаты света; *a* – спектр от зеленого до пурпурного; *b* – спектр от голубого до желтого. Lab является трёхмерным пространством, в котором отрицательные значения *a* и *b* содержат холодные цвета, положительные – тёплые. Ось *L* определяет светлость.

Значения R, G, B, извлечённые из спектральных каналов 4, 3 и 2 соответственно, конвертируются в цветовое пространство Lab. Значение, извлечённое с панхроматического канала, помещается вместо канала *L* и полученные компоненты *L*, *a*, *b* переводятся обратно в пространство RGB. Таким образом, происходит объединение спектральной информации панхроматического канала с информацией каналов R, G, B, в результате весь отражённый свет объединяется на одном снимке, что позволяет получить цветное изображение с более высоким пространственным разрешением.

Было проведено сравнение работы данных методов, по результатам которого выбор был сделан в пользу второго метода, так как он даёт реалистичное изображение в исходных цветах, не требующее коррекции.

Кластеризация изображений

Кластеризация спутниковых изображений может иметь различную детализацию. Это соответствует структуре данных, отображающих природные объекты различных масштабов. Например, по спектральным признакам можно разделить объекты изображения на леса, поля и воду. Для данных целей можно использовать график спектральной кривой.

График спектральной кривой является графическим представлением отношения длины волны и значений коэффициента отражения анализируемого объекта. По оси абсцисс – значения длин волн, в которых измерялись коэффициенты отражения. По оси ординат – коэффициенты отражения в рассматриваемых спектральных зонах. Данный график представлен на рис. 1 [5].

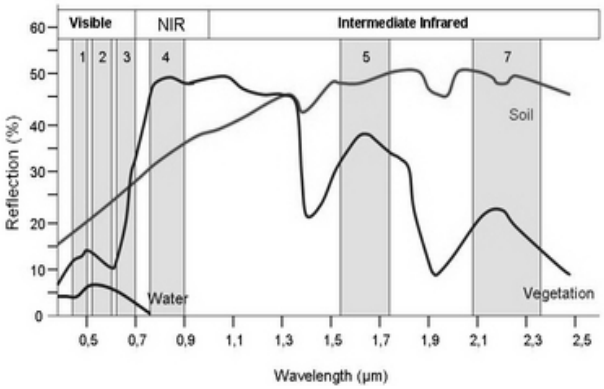


Рис. 1. График спектральных кривых отражения для воды, почвы и растительности

Кластеризация по яркости не учитывает характеристики отражения объектов: например, река может относиться к разным кластерам, поэтому предлагается следующая методика классификации объектов, состоящая из двух этапов.

Получение спектральной информации для кластеров включает в себя следующие этапы:

1. На входе задаются данные, прошедшие радиометрическую и атмосферную коррекцию для каналов Landsat 8.
2. На синтезированном снимке для комбинации каналов {4; 3; 2} предварительно выбираются однородные участки по типам поверхности, размером 10×10 пикселей. Эти участки называются шаблонами.
3. Для каждого шаблона формируются значения спектральных коэффициентов отражения для спектральных каналов Landsat 8, имеющих одинаковое пространственное разрешение 30 м.
4. Для каждого шаблона рассчитываются среднее значение, среднеквадратичное отклонение и вегетационные индексы.

Графики средних значений представлены на рис. 2.

После того как будет получена спектральная информация, выполняется кластеризация выделенных объектов: для каждой точки изображения вычисляются значения спектральных коэффициентов отражения на основе первых спектральных каналов Landsat-8 и значения вегетационных индексов.

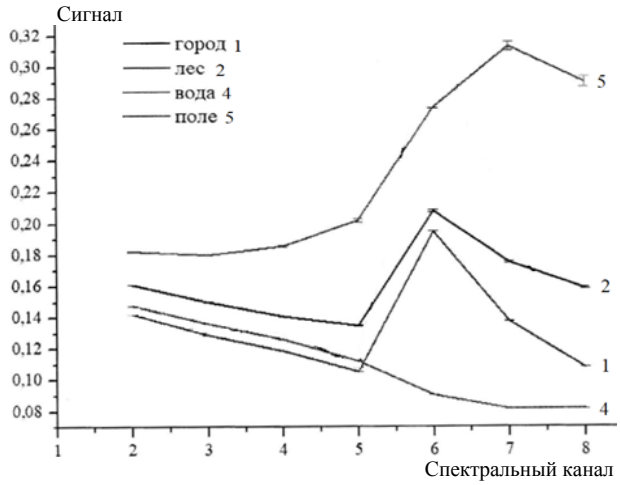


Рис. 2. Графики средних значений отражения

Полученные значения спектральных коэффициентов отражения сравниваются с полученными ранее графиками спектральных кривых.

Принадлежность кластеру вычисляется по формуле

$$100*|I_(i,j) - Ik_(i,j)\ |/I_k \le p, \qquad (2)$$

где $I_(i, j)$ – рассчитанное значение; I_k – значение для определённого типа поверхности; P – порог (например, 3%).

Если значения спектральных коэффициентов отражения всех каналов для точки с графиком спектральных кривых для кластера совпадают, а также совпадает значение вегетационного индекса, то делается вывод о принадлежности точки кластеру. Точка, принадлежащая нескольким кластерам, отмечается как неоднозначная.

Для точек, не принадлежащих к кластерам или относящихся к нескольким кластерам, выполняется сравнение со спектральными кривыми для смешанных кластеров, аналогично предыдущему шагу.

Точка на выходном изображении окрашивается цветом, соответствующим номеру кластера.

Результаты

В результате выполнения процедуры панхроматического слияния удалось повысить пространственное разрешение изображения, результат представлен на рис. 3.

Для сравнения на рис. 4 представлено изображение этого же участка Земли без увеличения пространственного разрешения.

Из результатов видно, что изображение после выполнения обработки становится более чётким, на нём возможно рассмотреть больше деталей. На рис. 5 представлен результат выполнения кластеризации.

Заключение

Были рассмотрены основные задачи, возникающие при обработке спутниковых снимков. Выполнен обзор методов панхроматического слияния, выбран метод кластеризации.

Полученные результаты позволяют проводить более качественную визуальную дешифрацию и выполнять поиск объектов определённого типа.



Рис. 3. Результат панхроматического слияния



Рис. 4. Изображение до выполнения процедуры панхроматического слияния

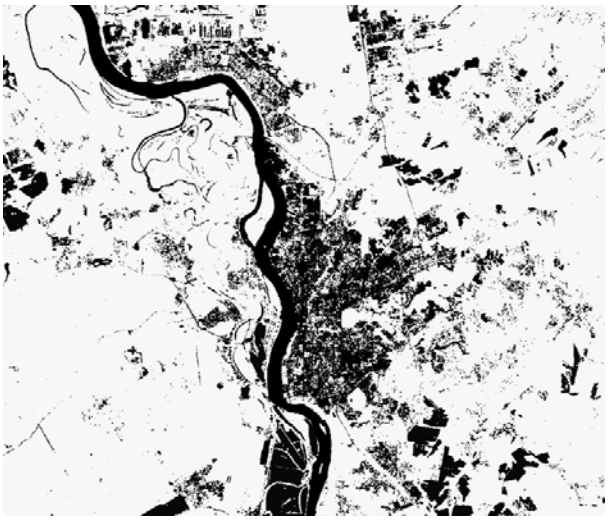


Рис. 5. Результат кластеризации

Литература

1. Свойства данных дистанционного зондирования. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://loi.sscc.ru/gis/dataplus/arcrev/Number_17/3_Svoistva.htm

2. Каналы космоснимков Landsat-8 [Электронный курс]. – Режим доступа: http://magnetometry.ru/study/tables/landsat8.pdf

3. Основные сведения о панхроматическом слиянии. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://desktop.arcgis.com/ru/arcmap/10.3/manage-data/raster-and-images/fundamentals-of-panchromatic-sharpening.htm

4. Pan-Sharpening Techniques to Enhance Archaeological Marks: An Overview [Электронный ресурс]. – http://www.unesco-hist.org/uploads/files/201601125/Springer_Lasaponara&Masini_chapter4_pubblicato.pdf.

5. Display of satellite images [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https:// www.esa.int/SPECIALS/Eduspace_Disasters_EN/SEM5RTYE1PH_2.html

Катаев Михаил Юрьевич
Д-р техн. наук, профессор каф. АСУ ТУСУРа
Эл. почта: kmy@asu.tusur.ru

Вертеев Александр Алексеевич
Студент каф. АСУ ТУСУРа
Эл. почта: grok123445@gmail.com

УДК 004.4:378.147

М.М. Дадонова, М.Ю. Катаев, М.О. Крылов

Выявление временных изменений текстур различных типов растений на изображениях, полученных с БПЛА

Данная работа посвящена исследованию применения текстурного анализа в идентификации СХ растений на ортофотоплане, воссозданном по снимкам, полученным с БПЛА, определению временной зависимости цвета и текстуры на изображении от вегетационного цикла растений. Затрагивается вопрос пригодности текстурного анализа для оценки классифицированного растения в определённый период его развития.

Ключевые слова: текстура, анализ, коэффициент, изображение, ортофотоплан, обработка, временная зависимость, идентификация растения, БПЛА, текстурный анализ, область перекрытия.

На сегодняшний день остро стоит вопрос цифровизации сельского хозяйства. Современному сельхозпредприятию необходимо оптимальное решение следующих задач в определённой последовательности:

1) осуществление сезонного еженедельного мониторинга;

2) обработка полученных в процессе мониторинга данных (снимков, видео, ортофотоплана, геоданных, метеоданных, координат и т.д.);

3) расчёт и проведение анализа полученных данных;

4) составление и предоставление аналитического отчёта с результатами проделанной работы;

5) проведение повторного цикла вышеперечисленных пунктов при необходимости;

6) сопоставление актуальных данных с данными за прошлые годы (при наличии) с целью прогнозирования сценариев развития в будущем.

Решение вышеизложенных вопросов поможет увеличить урожайность, сократить процент погибших культур, проанализировать качество, состояние почвы до, после и во время посадок. Возможно будет предсказать урожайность в следующие годы, ориентируясь по текущему, составить карты засорённостей, т.е. обнаружения зон заражения и поражения сорняками или какой-либо болезнью, обнаружить посторонние объекты.

Используя такую карту, СХ рабочий по координатам отмеченных областей целенаправленно обрабатывает химикатами ослабшие посевы.

Именно разработке и реализации методики, а также её проверке на реальном эксперименте посвящена данная работа.

Постановка задачи

В качестве механизма классификации поверхности был выбран текстурный анализ. Однако во многих случаях требуется найти не только текстурные индексы, но и их изменение во времени. Таким образом, можно установить зависимость между изменениями индексов, т.е. характером текстуры поверхности, и вегетационной стадией развития растений [5]. Также это позволит отследить различного рода нарушения в процессе роста, например, в случае возникновения заболевания у посевов, изменения состояния почвы, появления инородных объектов на поле и т.д.

Эксперимент

Местом проведения было выбрано пшеничное поле, располагающееся возле р. Томь, примерно в 6–10 км от г. Томска. Период проведения эксперимента лето 2019 г., а именно с 1 июня по 24 августа. Время съёмки с 11:00 до 13:00. С календарём съёмки можно ознакомиться по рис. 3.



Рис. 1. Поле для эксперимента

Данная местность подходит с точки зрения удобного местоположения, а также наличием реального объекта наблюдения – посаженных культур.

Разработанная методика

На рис. 2 представлена блок-схема алгоритма разработанной методики. Как понятно из схемы, метод имеет накопительный временной эффект, что важно для решения задач сельского хозяйства, так как растения, очевидно, развиваются. Рассмотрим каждый шаг более подробно.



Рис. 2. Блок-схема алгоритма

Загружаем космический снимок со спутника Landsat-8. Группируем снимки, сделанные квадрокоптером Mavic Pro, по датам их получения.

Создаём ортофотоплан (композитный снимок) для даты t_i и накладываем его на космический снимок. В итоге получается многослойная структура, где каждый слой представляет собой какую-либо территорию (в данном случае – поле за томским мостом) в различные периоды съёмки.

Следующий этап – вырезание участков, анализ которых рассмотрен на примере рис. 3. Разбиение выполняется для каждого ортофотоплана по координатам и размеру блока 30×30 px. При выходе за границу снимка столбцы массива интенсивности заполняются нулями и не учитываются при дальнейшем расчёте сумм текстурных показателей [1].

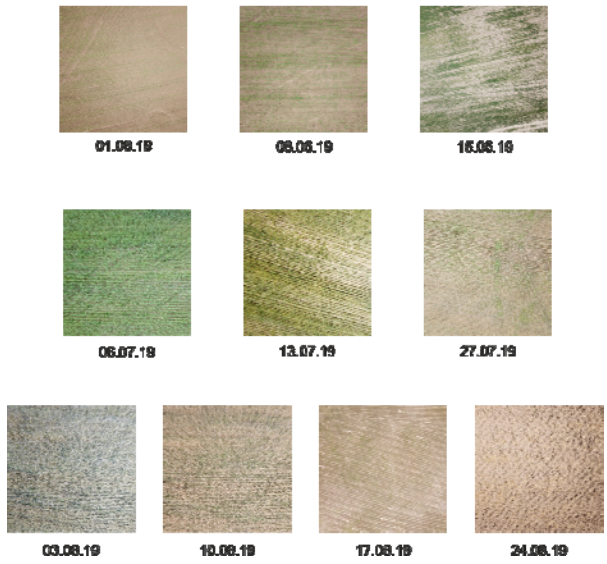


Рис. 3. Массив изображений

Далее для каждого блока каждого временного периода рассчитывается набор коэффициентов, приведённых в формулах.

Энергия (Energy)

$$P1 = \sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{M-1} \frac{I^2(i,j)}{N+M}.$$

Корреляция (Correlation)

$$P2 = \sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{M-1} \left(\frac{i * j * I(i,j) - \mu_x \mu_y}{\sigma_x \sigma_y} \right).$$

Контраст (Contrast)

$$P3 = \sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{M-1} (i-j)^2 * I(i,j).$$

Несходство (Dissimilarity)

$$P4 = \sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{M-1} |i-j|^2 * I(i,j).$$

Гомогенность (Homogeneity)

$$P5 = \sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{M-1} \left(\frac{I(i,j)}{1-(i-j)^2} \right).$$

Энтропия (Entropy)

$$P6 = \sum_{x=0}^{N-1} \left(F(x) * \lg(F(x))\right).$$

Максимум (Maximum)

$$P7 = \max(I(i,j)).$$

Энергия 2 (Energy 2)

$$P8 = \sum_{x=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{M-1} (F(x)^2).$$

Гомогенность (Homogeneity)

$$P9 = \sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{M-1} \left(\frac{P(i,j)}{1+|i-j|} \right).$$

Построим временные гистограммы зависимости P_i от времени t для каждого коэффициента.

Анализ результатов

Результаты построения временных гистограмм представлены на рис. 4–12.



Рис. 4. Коэффициент P1 – энергия



Рис. 5. Коэффициент P2 – корреляция

Как видно из рис. 4–9, характер кривой гистограммы имеет примерно одинаковую траекторию. Пик приходится на период, когда всходы посевов преимущественно зелёные и занимают всю площадь на изображении.



Рис. 6. Коэффициент P3 – контраст

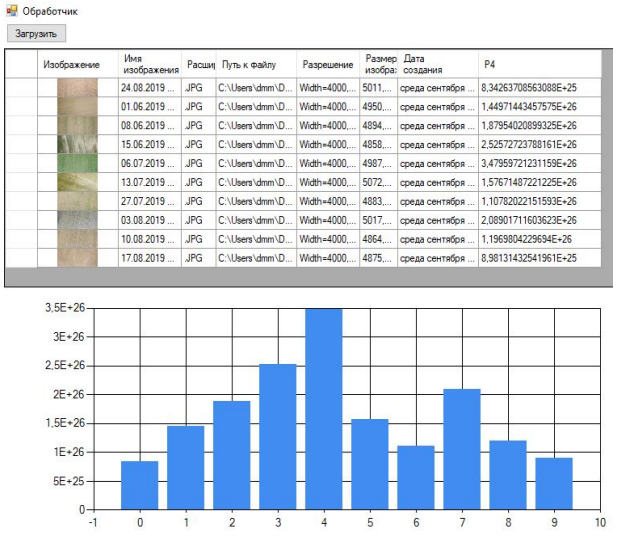


Рис. 7. Коэффициент P4 – несходство

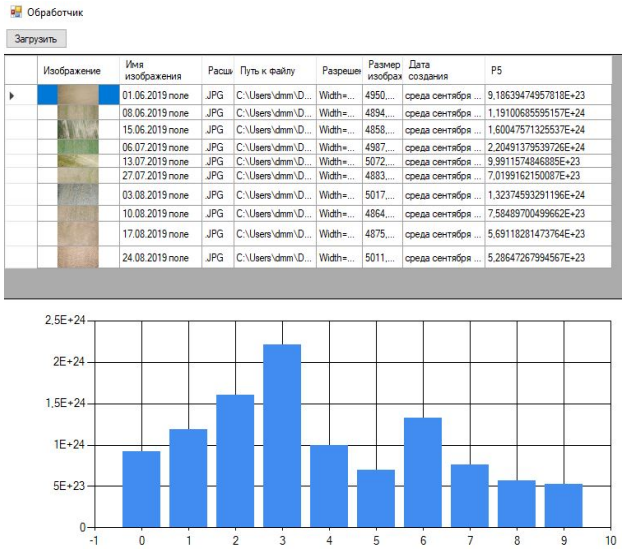


Рис. 8. Коэффициент P5 – гомогенность

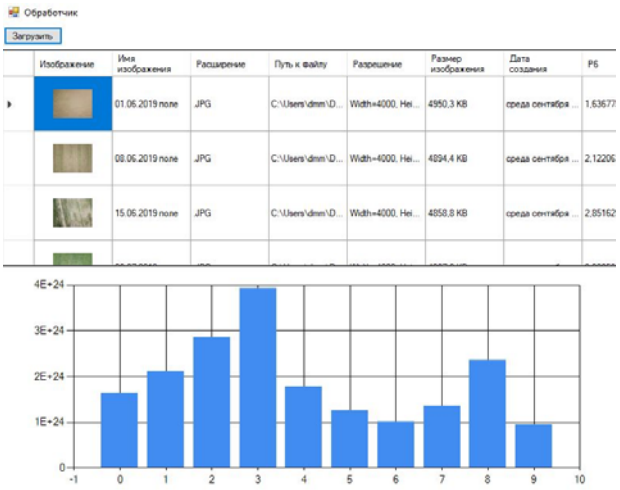


Рис. 9. Коэффициент P6 – энтропия

Минимум приходится на пожелтевшие созревшие растения перед уборкой. И далее коэффициенты растут, когда урожай убран, остаётся земля. Столь большое значение текстурного индекса на поздних съёмках после урожая объясняется наличием какого-либо небольшого процента сорняков и прочих растений.

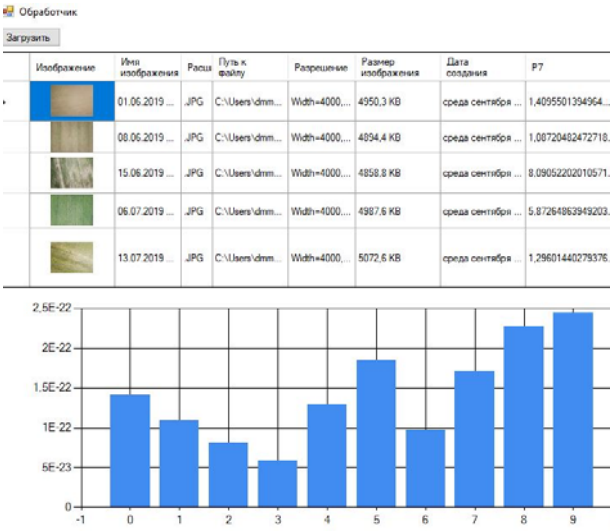


Рис. 10. Коэффициент P7 – максимум

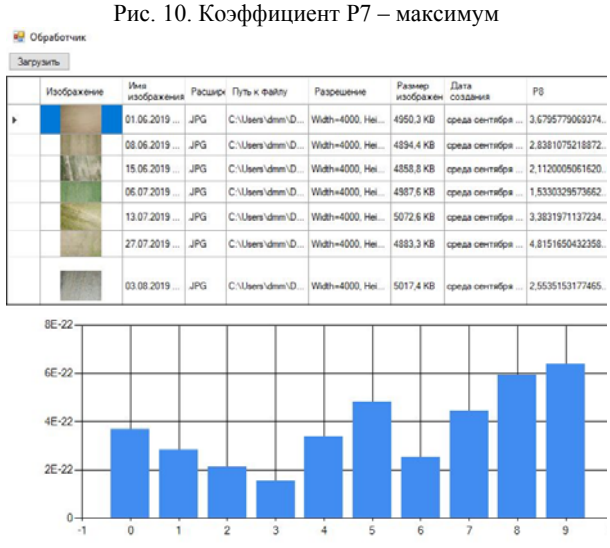


Рис. 11. Коэффициент P8 – энергия 2

Рассмотрим результаты расчёта коэффициентов на рис. 10–12. Обратная ситуация – пик приходится на период убранного урожая. Так как при расчёте этих коэффициентов кривая менялась, если на снимке большую часть занимала земля, можно сделать вывод, что данные коэффициенты не берут в расчёт зелень и отлично подойдут при поиске участков невсхода посевов.

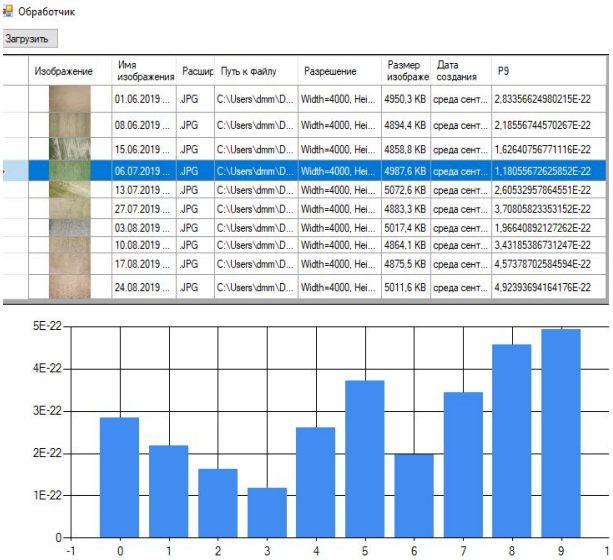


Рис. 12. Коэффициент P9 – гомогенность

Выводы

Так как коэффициенты меняются с определённой закономерностью в течение заданного временного периода, следует, что разработанная методика подходит для осуществления задачи мониторинга и последующего анализа местности, с целью, сохранить наибольший процент урожая, потратить меньше ресурсов на его поддержание и времени рабочих на досмотр.

Литература

1. Гулаков В.К., Трубаков А.О., Огурцов С.Н. Информативная значимость текстурных характеристик на основе матрицы смежности уровней яркости пикселей изображения // Вестник Брянского гос. техн. ун-та. – 2011. – № 2(30).

2. Парфентьев К.В., Гаврилов А.И. Построение моделей подстилающей поверхности на основе реконструкции данных мультиспектрального мониторинга // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ». – 2017. – Т. 9, №6. – https://naukovedenie.ru/PDF/160TVN617.pdf (доступ свободный).

3. Фраленко В.П. Методы текстурного анализа изображений, обработка данных дистанционного зондирования Земли // Программные системы: теория и приложения. – 2014. – Т. 5, вып. 4. – С. 19–39.

4. Фисенко В.Т., Фисенко Т.Ю. Компьютерная обработка и распознавание изображений: учеб. пособие. – СПб.: СПбГУ ИТМО, 2008. – 192 с.

5. Харалик Р.М. Статистический и структурный подходы к описанию текстур // ТИИЭР. – 1979. – Т. 67, № 5.

Дадонова Мария Михайловна
Магистрант каф. АСУ ТУСУРа
Эл. почта: mashadad@mail.ru

Крылов Максим Олегович
Магистрант каф. АСУ ТУСУРа
Эл. почта: maxkmo96@gmail.com

Катаев Михаил Юрьевич
Д-р техн. наук, профессор каф. АСУ ТУСУРа
Эл. почта: kmy@asu.tusur.ru

УДК 519.163

Ю.В. Шабля, А.С. Репкин, В.С. Мельман

Алгоритмы ранжирования и генерации по рангу для комбинаторного множества помеченных путей Дика с подъемами на возвратных шагах

Представлены результаты апробации модификации метода построения алгоритмов комбинаторной генерации на основе деревьев И/ИЛИ. В качестве комбинаторного множества рассмотрено множество комбинаторных объектов, описываемых числовым треугольником Эйлера–Каталана. Для данного комбинаторного множества были разработаны алгоритмы представления множества в виде структуры дерева И/ИЛИ, а также алгоритмы ранжирования и генерации по рангу.

Ключевые слова: комбинаторная генерация, дерево И/ИЛИ, алгоритм, ранжирование, генерация по рангу, треугольник Эйлера–Каталана.

Комбинаторная генерация – раздел на стыке информатики и комбинаторики, развивающий методы и алгоритмы ранжирования и генерации комбинаторных множеств, таких как классы перестановок, разбиений, графов, деревьев, таблиц и др. [1, 2]. Под ранжированием и генерацией понимается нумерация объектов комбинаторных множеств, т.е. их кодирование в виде чисел для удобства хранения информации о них, а также последующее восстановление из чисел самих объектов.

В работе [3] представлена модификация метода построения алгоритмов комбинаторной генерации на основе деревьев И/ИЛИ [4]. В отличие от оригинальной версии метода в предложенной модификации применяется метод получения явных выражений коэффициентов производящих функций для нахождения выражения функции мощности комбинаторного множества [5]. Данное дополнение позволяет в случае успешного получения выражения функции мощности, принадлежащего алгебре $\{\mathbb{N},+,\times,R\}$, воспользоваться методом построения алгоритмов комбинаторной генерации на основе деревьев И/ИЛИ [4] для таких комбинаторных множеств, для которых известно только выражение производящей функции для последовательности значений функции мощности.

Рассмотрим процесс разработки алгоритмов ранжирования и генерации по рангу с помощью модифицированного метода построения алгоритмов комбинаторной генерации на основе деревьев И/ИЛИ для комбинаторного множества, для которого не известно выражение функции мощности, принадлежащего алгебре $\{\mathbb{N},+,\times,R\}$, но известно выражение производящей функции для последовательности значений функции мощности. В качестве такого комбинаторного множества рассмотрим множество комбинаторных объектов, определяемых числовым треугольником Эйлера–Каталана (числовая последовательность A316773 в онлайн-энциклопедии целочисленных последовательностей OEIS [6]) (табл.).

Числовой треугольник Эйлера–Каталана

Элементы числового треугольника Эйлера–Каталана EC_n^m определяются следующей экспоненциальной производящей функцией двух формальных переменных [7]:

$$EC(x,y)=\sum_{n\geq 0}\sum_{m\geq 0}\frac{EC_n^m}{n!}x^n y^m=\frac{y-1}{y-e^{C(x)(y-1)}},$$

где $C(x)$ – производящая функция чисел Каталана.

Таблица 1

Несколько первых значений числового треугольника Эйлера–Каталана

n/m	0	1	2	3	4	5	6
0	1	0	0	0	0	0	0
1	1	0	0	0	0	0	0
2	3	1	0	0	0	0	0
3	19	10	1	0	0	0	0
4	193	119	23	1	0	0	0
5	2721	1806	466	46	1	0	0
6	49171	34017	10262	1502	87	1	0

Производящая функция $EC(x, y)$ имеет связь с производящими функциями чисел Каталана C_n и чисел Эйлера первого рода E_n^m [8]. Данный факт позволяет получать различные комбинаторные интерпретации для значений EC_n^m. Например, в качестве одной из комбинаторных интерпретаций значение EC_n^m является значением функции мощности для комбинаторного множества помеченных путей

Дика длины $2n$ с m подъемами на возвратных шагах. Это такие пути Дика длины $2n$, в которых каждый спуск помечен уникальным значением от 1 до n. Если рассмотреть последовательность значений пометок спусков пути Дика, то в ней будет ровно m подъемов (ровно m значений последовательности будут больше, чем предшествующее им значение). Путь Дика длины $2n$ – это решетчатый путь на верхней плоскости (выше оси абсцисс), который начинается в координате (0,0), заканчивается в $(2n,0)$ и состоит из шагов (1,1), называемых подъемами, и (1,−1), называемых спусками [9]. Возвратный шаг – это спуск, возвращающий путь Дика на ось абсцисс.

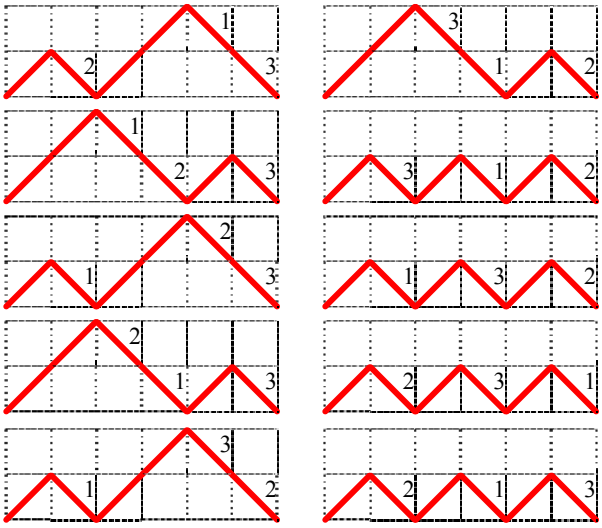


Рис. 1. Пример всех возможных вариантов помеченных путей Дика длины $2n = 6$ с $m = 1$ подъемом на возвратных шагах

На рис. 1 представлен пример всех возможных вариантов помеченных путей Дика длины $2n = 6$ с $m = 1$ подъемом на возвратных шагах.

Чтобы построить структуру дерева И/ИЛИ для множества комбинаторных объектов, определяемых числовым треугольником Эйлера–Каталана, необходимо получить выражение функции мощности, принадлежащее алгебре $\{\mathbb{N},+,\times,R\}$. Для этого воспользуемся методом получения явных выражений коэффициентов производящих функций [5].

Представим производящую функцию $EC(x, y)$ в виде композиции $EC(x, y) = E(C(x), y)$, где

$$E(x,y)=\sum_{n\geq 0}\sum_{m\geq 0}\frac{E_n^m}{n!}x^n y^m=\frac{y-1}{y-e^{x(y-1)}} \quad -$$

производящая функция чисел Эйлера первого рода.

Композита производящей функции чисел Каталана $C(x)$ определяется выражением

$$C^{\Delta}(n,k)=\frac{k}{2n-k}\binom{2n-k}{n}=CT_n^k,$$

которое при $n > 0$ совпадает с явным выражением коэффициентов производящей функции транспонированного числового треугольника Каталана CT_n^k (последовательность A033184 в OEIS [6]).

Используя метод получения коэффициентов композиции производящих функций для композиции $EC(x, y) = E(C(x), y)$, получим

$$EC_n^m=\begin{cases}1, & n=0,m=0;\\ \sum\limits_{k=m+1}^{n} CT_n^k E_k^m P_n^{n-k}, & \text{иначе.}\end{cases} \qquad (1)$$

Используемое значение P_n^m соответствует количеству всех m-перестановок n элементов, равное

$$P_n^m=\frac{n!}{(n-m)!}.$$

Рассмотрим процесс разработки алгоритмов ранжирования и генерации по рангу для комбинаторного множества помеченных путей Дика длины $2n$ с m подъемами на возвратных шагах.

Представление комбинаторного множества в виде структуры дерева И/ИЛИ

В качестве выражения функции мощности множества помеченных путей Дика длины $2n$ с m подъемами на возвратных шагах, принадлежащего алгебре $\{\mathbb{N},+,\times,R\}$, воспользуемся формулой (1). Данному выражению соответствует структура дерева И/ИЛИ, представленная на рис. 2.

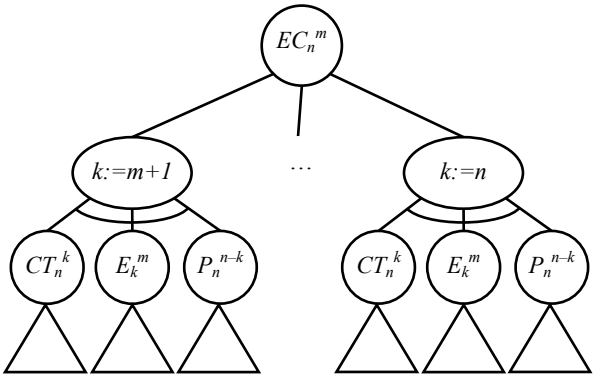


Рис. 2. Дерево И/ИЛИ для множества помеченных путей Дика длины $2n$ с m подъемами на возвратных шагах

Биекция между элементами комбинаторного множества и множества вариантов дерева И/ИЛИ определяется следующим правилом:

– количество возвратных шагов определяет значение параметра k (выбирается соответствующая ветвь ИЛИ-узла дерева И/ИЛИ);

– поддерево с вершиной CT_n^k определяет вариант пути Дика длины $2n$ с k возвратными шагами;

– поддерево с вершиной E_k^m определяет вариант перестановки пометок k возвратных шагов, чтобы они образовывали ровно m подъемов;

– поддерево с вершиной P_n^{n-k} определяет вариант значений пометок и вариант их перестановки для оставшихся (не возвратных) $n-k$ спусков.

Таким образом, чтобы получить алгоритмы комбинаторной генерации на основе построенного дерева И/ИЛИ, необходимо разработать алгоритмы комбинаторной генерации для следующих множеств:

– путей Дика длины $2n$ с m возвратными шагами, число которых определяется значением CT_n^m:

$$CT_n^m = CT_{n-1}^{m-1} + CT_n^{m+1}, \quad CT_n^0 = 0, \quad CT_n^n = 1;$$

– перестановок n элементов с m подъемами, число которых определяется значением E_n^m:

$$E_n^m = (m+1)E_{n-1}^m + (n-m)E_{n-1}^{m-1}, \quad E_n^{n-1} = E_n^0 = 1;$$

– m-перестановок n элементов, число которых определяется значением P_n^m:

$$P_n^m = C_n^m P_m,$$

где C_n^m – количество сочетаний из n элементов по m – определяет, какие m элементов будут отобраны из множества n элементов для их участия в перестановке, P_m – количество перестановок m элементов – определяет вариант перестановки для отобранных m элементов.

Алгоритмы комбинаторной генерации

В результате, используя алгоритмы комбинаторной генерации для указанных комбинаторных множеств, были получены соответствующие алгоритмы (алгоритм 1 и 2) для дерева И/ИЛИ для множества помеченных путей Дика длины $2n$ с m подъемами на возвратных шагах. В данных алгоритмах варианты дерева И/ИЛИ представлены тройкой последовательностей $v = (v_1, v_2, v_3)$, первая из которых v_1 соответствует коду поддерева по левой ветви выбранного И-узла дерева И/ИЛИ, вторая v_2 – коду поддерева по средней ветви, третья v_3 – коду поддерева по правой ветви.

Алгоритм 1. Алгоритм ранжирования варианта v дерева И/ИЛИ, соответствующего помеченному пути Дика длины $2n$ с m подъемами на возвратных шагах

RankVariant_DyckPathARS(v,n,m)
begin
  k := |v_2|/2
  l_1 := RankVariant_DyckPathRS(v_1,n,k)
  l_1 := RankVariant_PermutationA(v_2,k,m)
  l_1 := RankVariant_mPermutation(v_3,n,$n-k$)
  $r := l_1 + CT_n^k\left(l_2 + E_k^m l_3\right) + \sum_{i=m+1}^{k-1} CT_n^i E_i^m P_n^{n-i}$
  return r
end

Алгоритм 2. Алгоритм генерации по рангу варианта v дерева И/ИЛИ, соответствующего помеченному пути Дика длины $2n$ с m подъемами на возвратных шагах

UnrankVariant_DyckPathARS(r,n,m)
begin
  sum := 0
  for i := m + 1 **to** n **do**
    $s := CT_n^i E_i^m P_n^{n-i}$
    if $sum + s > r$ **then**
      $r := r - sum$
      $k := i$
      break
    end
    else $sum := sum + s$
  end
  $l_1 := r \bmod CT_n^k$
  $r := \left\lceil \frac{r}{CT_n^k} \right\rceil$
  $l_2 := r \bmod E_k^m$
  $l_3 := \left\lceil \frac{r}{E_k^m} \right\rceil$
  v_1 := UnrankVariant_DyckPathRS(l_1,n,k)
  v_2 := UnrankVariant_PermutationA(l_2,k,m)
  v_3 := UnrankVariant_mPermutation(l_3,n,$n-k$)
  return (v_1,v_2,v_3)
end

Итоговая оценка вычислительной сложности разработанных алгоритмов комбинаторной генерации (алгоритм 1 и 2) равна $O(nm(n-m))$.

В табл. 2 представлен пример полученных результатов ранжирования множества помеченных путей Дика длины $2n$ с m подъемами на возвратных шагах для случая $n = 5$ и $m = 2$. Здесь пути Дика длины $2n$ представлены в виде последовательности шагов $a = (a_1,\ldots,a_{2n})$, где $a_i \in$ {'u','d'}, 'u' – обозначение шага-подъема, 'd' – обозначение шага-спуска, при этом для каждого шага-спуска указана соответствующая ему отметка.

Таблица 2

Пример ранжирования множества помеченных путей Дика длины $2n$ с m подъемами на возвратных шагах при $n = 3$ и $m = 1$

Путь Дика	Код варианта дерева И/ИЛИ			Ранг
	v_1	v_2	v_3	
u d2 u u d1 d3	(0,1)	(1,0,0,0)	((0,0),(0))	0
u u d1 d2 u d3	(1)	(1,0,0,0)	((0,0),(0))	1
u d1 u u d2 d3	(0,1)	(1,0,0,0)	((0,1),(0))	2
u u d2 d1 u d3	(1)	(1,0,0,0)	((0,1),(0))	3
u d1 u u d3 d2	(0,1)	(1,0,0,0)	((1),(0))	4
u u d3 d1 u d2	(1)	(1,0,0,0)	((1),(0))	5
u d3 u d1 u d2	(0)	(0,0,1,0,0,0)	((0,0,0),(0))	6
u d1 u d3 u d2	(0)	(0,1,1,0,0,0)	((0,0,0),(0))	7
u d2 u d3 u d1	(0)	(1,0,0,0,0,0)	((0,0,0),(0))	8
u d2 u d1 u d3	(0)	(1,1,0,0,0,0)	((0,0,0),(0))	9

На основе системы компьютерной алгебры «Maxima» [10] была разработана программа для ранжирования и генерации по рангу элементов комбинаторного множества помеченных путей Дика длины $2n$ с m подъемами на возвратных шагах. Используя программную реализацию разработанных алгоритмов комбинаторной генерации, был проведен ряд вычислительных экспериментов, направленных на выявление зависимостей времени вычислений от значений параметров исследуемого комбинаторного множества. Результаты проведенных вычислительных экспериментов полностью подтверждают полученные теоретические оценки вычислительной сложности.

Заключение

Разработанные алгоритмы ранжирования и генерации по рангу для множества комбинаторных объектов, определяемых числовым треугольником Эйлера–Каталана, позволяют кодировать такие объекты в виде ранга, что, в свою очередь, приводит к сокращению количества хранимой информации. Созданное программное обеспечение позволяет в автоматизированном режиме решать задачи по ран-

жированию и генерации по рангу элементов комбинаторного множества помеченных путей Дика длины 2*n* с *m* подъемами на возвратных шагах.

Работа по разработке алгоритмов комбинаторной генерации выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 18-31-00201). Программная реализация разработанных алгоритмов выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ в рамках базовой части государственного задания ТУСУР на 2017–2019 годы (проект № 2.8172.2017/8.9).

Литература

1. Кнут Д.Э. Искусство программирования. – Т. 4, А: Комбинаторные алгоритмы. – Ч. 1. – М.: Вильямс, 2013. – 960 с.

2. Ruskey F. Combinatorial generation. Working version (1j-CSC 425/520). – 2003. – 311 p. – URL: http://page.math.tu-berlin.de/~felsner/SemWS17-18/Ruskey-Comb-Gen.pdf (дата обращения: 19.09.2019).

3. Шабля Ю.В. Модификация метода построения алгоритмов комбинаторной генерации на основе применения теории производящих функций / Ю.В. Шабля, Д.В. Кручинин // Доклады ТУСУР. – 2019. – Т. 22, № 3 [в печати].

4. Кручинин В.В. Методы построения алгоритмов генерации и нумерации комбинаторных объектов на основе деревьев И/ИЛИ. – Томск: В-Спектр, 2007. – 200 с.

5. Кручинин В.В. Степени производящих функций и их применение / В.В. Кручинин, Д.В. Кручинин. – Томск: Изд-во ТУСУРа, 2013. – 236 с.

6. Sloane N.J.A. The on-line encyclopedia of integer sequences. – URL: https://oeis.org (дата обращения: 19.09.2019).

7. Shablya Y.V. Euler-Catalan's number triangle and its application / Y.V. Shablya, D.V. Kruchinin // Proceedings book of the Mediterranean International Conference of Pure & Applied Mathematics and Related Areas. – Antalya, 2018. – P. 212–216.

8. Graham R.L. Concrete mathematics. Second edition / R.L. Graham, D.E. Knuth, O. Patashnik. – USA: Addison-Wesley, 1994. – 657 p.

9. Ландо С.К. Введение в дискретную математику. – М.: Изд-во МЦНМО, 2014. – 264 с.

10. Maxima, a Computer Algebra System. – URL: http://maxima.sourceforge.net (дата обращения: 19.09.2019).

Шабля Юрий Васильевич
М.н.с. каф. КИБЭВС ТУСУРа
ORCID 0000-0002-9695-7493
Эл. почта: shablya-yv@mail.ru

Репкин Андрей Сергеевич
М.н.с. Института системной интеграции и безопасности (ИСИБ) ТУСУРа
Эл. почта: repkin572@gmail.com

Мельман Вадим Сергеевич
Эксперт I кат. отд. по Томской области
Сибирского главного управления Центрального банка РФ
Эл. почта: vadiamylman@yandex.ru

УДК 681.511.2

В.В. Нгуен, А.Н. Устименко

Экспериментальная установка исследования процессов осушением воздуха на базе Arduino и CoDeSys

Предложен метод создания экспериментальной установки системы осушения воздуха с использованием технологии 3D-прототипирования основных элементов. Выполнение исследований в автоматизированном режиме обеспечивается разработанным устройством на базе Arduino для реализации измерительной и исполнительной части установки. Реализован протокол связи для обеспечения задач синтеза систем управления в среде CoDeSys.

Ключевые слова: 3D-прототипирование, экспериментальная установка, Arduino, CoDeSys.

При хранении материалов в закрытых боксах (помещениях) климатические параметры воздуха играют немаловажную роль [1]. Одним из важных параметров воздуха является относительная влажность внешней среды. Как известно, высокая относительная влажность является основной причиной ускоренной коррозии металлов, риска замыканий и получения электротравм, быстрой потери срока годности продуктов питания, товаров и т.д.

Также биогенная и химическая коррозия усиливается с увеличением влажности, большинство материалов подвергается разрушению [2]. Решением данной проблемы обычно обеспечивается поддерживание низкой влажности воздуха в помещениях или боксах. В большинстве случаев это можно обеспечить обычными системами вентиляции. Однако в условиях высокой влажности во внешней среде требуется решение задачи поддержания влажности в закрытых системах. Особо остро проблема возникает в тропических странах и является актуальной.

Для осушения воздуха в закрытых хранилищах большое распространение получил конденсационный способ [3], который работает на принципе конденсации воды из воздуха при охлаждении его до температуры точки росы. При разработке автоматических систем управления для таких объектов требуется определить математическую модель статических связей и динамических процессов. Для синтеза

математической модели объекта используют один из двух подходов построения:

1. Аналитический – проведение подробных исследований для построения модели. В процессе исследования необходимо выявить природу физических процессов, проходящих в объектах управления. Обычно результатом таких исследований становятся достаточно сложные дифференциальные уравнения и алгебраические зависимости. Адекватность полученной модели нужно как-то подтверждать или обстоятельным теоретическим изложением, или экспериментальными данными.

2. Экспериментальный – все закономерности процессов для объекта не рассматриваются, но при этом по результатам эксперимента можно получить упрощенные уравнения и зависимости. В этом случае основанием для описания становится сам эксперимент.

В рассматриваемой задаче построение систем управления осушением воздуха в помещениях или закрытых боксах является достаточно сложной задачей для анализа, которая не может гарантированно обеспечить адекватность модели. Поэтому при построении математической модели предлагается опираться на экспериментальный подход. При этом необходимо отметить, что этот подход достаточно дорогостоящий и связан со значительными материальными затратами и трудоемкостью изготовления образца реального объекта.

В статье предлагается решение, позволяющее сократить эти затраты путем разработки экспериментальной установки, которая будет адекватно описывать процессы управления осушением воздуха в помещениях. Многие решения в известных работах [4–7] показали, что для решения многих задач вполне возможно использование экспериментальных установок, построенных с помощью методов 3D-прототипирования вместо реального объекта для проведения исследования.

Экспериментальная установка в данной работе является лабораторным стендом, который предназначен для проведения на нем статических и динамических экспериментов, для определения оптимальных параметров синтеза систем автоматического управления. Визуальный стенд представлен на рис. 1 (*а* – внутри бокса, *б* – вне бокса), а его структурная схема представлена на рис. 2.

В данной статье, как и в [4–7], предлагается использовать методы построения установки с использованием технологий 3D-прототипирования печати. Подключение необходимой (исполнительной и измерительной) периферии обеспечивается микроконтроллером Arduino Nano, а управление – как в режиме реального времени, так и автоматизации средствами программного обеспечения CoDeSys.

В структурной схеме показаны следующие элементы:

– кулеры для обеспечения циркуляции воздуха (*1–3*);

– термоэлектрический модуль Пельтье [8] для охлаждения панели сбора конденсата (*4*);

– датчики температуры DS18B20 (*5*, *6*) и влажности DHT 11 (*7*, *8*);

– плата Arduino UNO R3 [10];

– нагревательный элемент (*9*);

– пластиковый бокс (*10*);

– радиатор охлаждения (*11*);

– сервопривод для управления потоками воздуха (*12*);

– вентиляционный канал (*13*);

– емкость сбора конденсата (*14*).

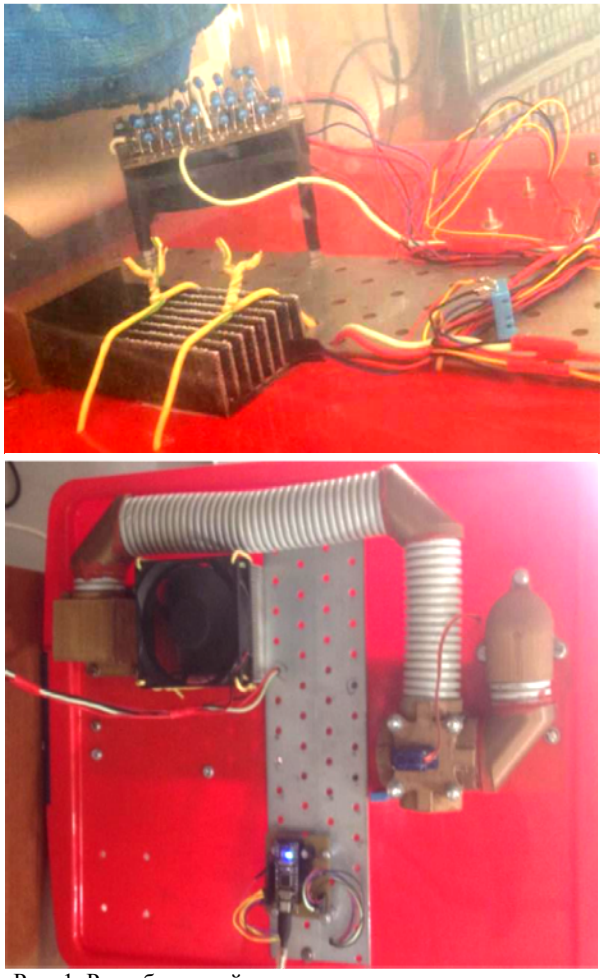


Рис. 1. Разработанный стенд системы осушения воздуха

Стенд, схема которого показана на рис. 2, работает в двух режимах.

В первом режиме при влажности внешней среды больше чем влажность в боксе. Влажный воздух, направляемый кулером *3*, проходит через охлажденный радиатор *5*, при этом влажный воздух охлаждается до точки росы и сконденсированная вода отводится в емкость сбора конденсата *14*. Далее осушенный воздух проходит обратно в бокс *10*.

Во втором режиме, когда влажность в боксе выше, чем во внешней среде, воздух поступает из внешней среды в бокс. Далее процесс движения воздуха проходит аналогично, как в первом режиме. При снижении влажности в боксе до влажности внешней среды выполняется переход в первый режим.

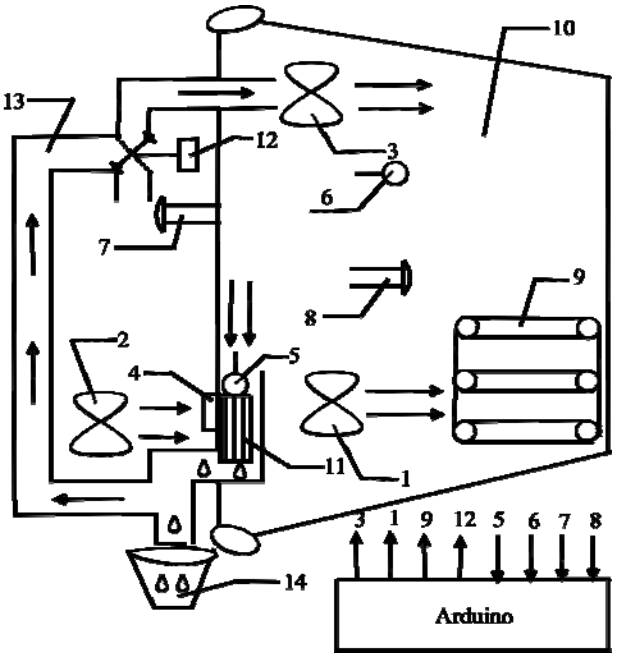


Рис. 2. Структурная схема стенда системы осушения воздуха

При помощи сервопривода *12* под управлением контроллера Arduino обеспечивается выбор режима работы. Также контроллер используется для сбора данных с датчиков (температуры – *5*, *6* и влажности – *7*, *8*). В программу контроллера включен код, обеспечивающий связь с внешними устройствами на базе протокола ModBus. В данном случае этот протокол использовался для связи с программным обеспечением персонального компьютера, где реализована система автоматического управления.

Для обеспечения автоматического управления используется среда программирования CoDeSys. Это программное обеспечение является весьма популярной средой разработки прикладных программ для программируемых логических контроллеров (ПЛК). Доступны пять языков, определяемых стандартом МЭК 61131-3:

– ST Pascal-подобный язык;
– IL ассемблер-подобный язык;
– LD язык релейных схем;
– FBD язык функциональных блоков;
– SFC язык диаграмм состояний.

В дополнение к языку FBD еще есть язык программирования CFC. Кроме того, CoDeSys оснащена системой визуализации и операторского управления в режиме реального времени. Она позволяет легко и визуально подробно отображать модели объекта или графический интерфейс.

В CoDeSys включена функция трассировки, позволяющая фиксировать переходные процессы и установившиеся значения. Данные по окончании процесса можно считать из ПЛК, а потом использовать в другом программном обеспечении, например MatLab, SciLab, GnuPlot и т.д.

На рис. 3–10 представлены переходные процессы, полученные в результате проведения экспериментов, а в табл. 1 указаны условия эксперимента и установившие значения.

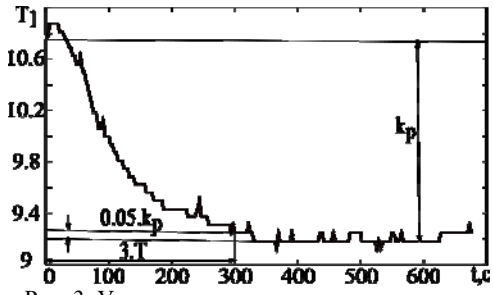


Рис. 3. Уменьшение температуры радиатора при уменьшении мощности вентилятора

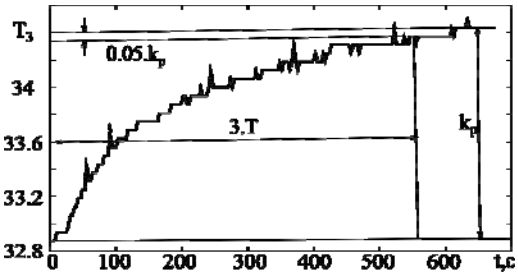


Рис. 4. Повышение температуры в боксе при уменьшении мощности вентилятора

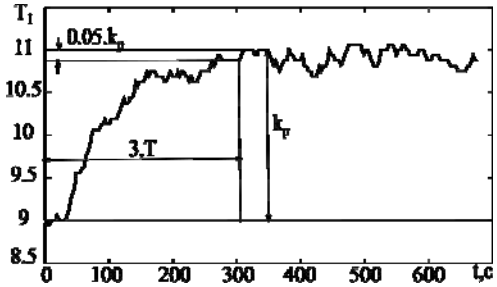


Рис. 5. Повышение температуры радиатора при увеличении мощности вентилятора

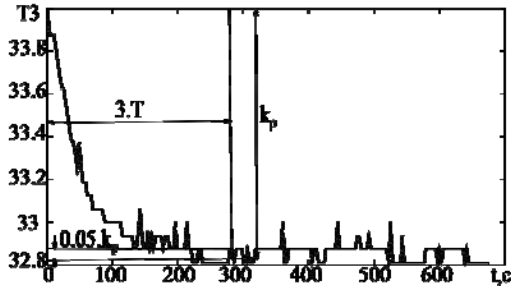


Рис. 6. Уменьшение температуры в боксе при увеличении мощности вентилятора

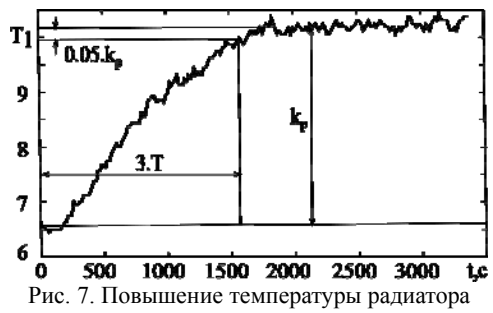


Рис. 7. Повышение температуры радиатора при увеличении мощности нагревательного элемента

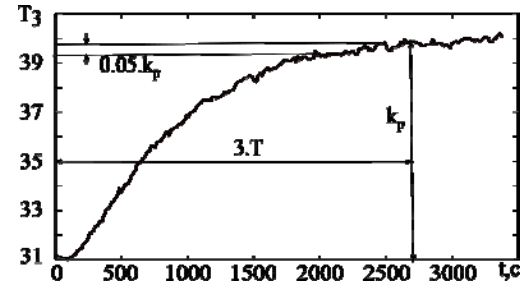


Рис. 8. Повышение температуры в боксе при увеличении мощности нагревательного элемента

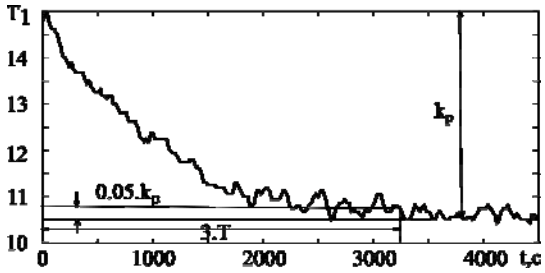


Рис. 9. Уменьшение температуры радиатора при уменьшении мощности нагревательного элемента

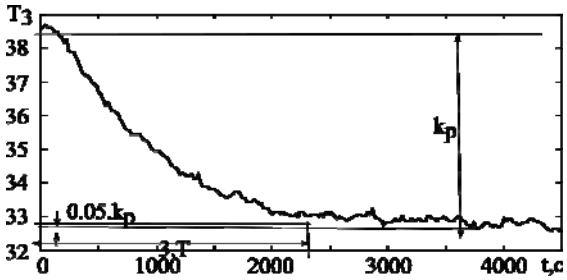


Рис. 10. Уменьшение температуры в боксе при уменьшении мощности грелки

Таблица 1

Установившие значения при проведении статического эксперимента

Условия эксперимента		Температура радиатора, °С	Температура бокса, °С
$P_г$, %	$P_в$, %		
20	20	7,625	29,125
20	40	8,8125	28,875
20	60	9,5	28,75
40	20	11,5	35,875
40	40	12,375	35,375
40	60	13,25	35,26
60	20	13,75	42
60	40	14,8125	40,375
60	60	15,375	39, 5625

$P_в$ – мощность вентилятора; $P_г$ – мощность нагревательного элемента.

Из рисунков видно, что динамику всех процессов можно представить дифференциальными уравнениями инерционного звена вида

$$\frac{dy(t)}{dt} = \frac{k_p x(t) - y(t)}{T}. \quad (1)$$

Полученные коэффициенты передачи и постоянные времени при анализе переходных процессов представлены в табл. 2.

Анализ переходных процессов показал, что, несмотря на то, что процессы представлены обыкновенными инерционными звеньями, их коэффициенты пропорциональности могут существенно отличаться в процессах нагрева и остывания. Этот факт следует учитывать при синтезе системы управления.

Таблица 2

Коэффициенты передачи и постоянные времени переходных процессов

Условия эксперимента	Температура радиатора	Температура в боксе
Увеличение $P_в$	$T = 100$; $k_р = 2$	$T = 100$; $k_р = 1,2$
Уменьшение $P_в$	$T = 100$; $k_р = 1,5$	$T = 186$; $k_р = 1,5$
Увеличение $P_г$	$T = 533$; $k_р = 3,75$	$T = 900$; $k_р = 8,8$
Уменьшение $P_г$	$T = 1066$; $k_р = 4,5$	$T = 800$; $k_р = 5,9$

T – постоянное время; $k_р$ – коэффициенты передачи.

Платформа Arduino вместе с инструментальным программным комплексом Codesys позволяет реализовывать системы сбора данных, точность измерений датчиков, проектировать контроллеры в экспериментальных установках и моделировать физические процессы на объекте.

Литература

1. Охрем В.Г. Термоэлектрическое охлаждение с помощью эффекта пельтье // Прикладная физика. – 2011. – № 5. – С. 123–126.

2. Вишневский Е.П. Консервация осушенным воздухом / Е.П. Вишневский, Г.В. Чепурин // Сантехника, отопление, кондиционирование. – 2010. – № 5(101). – С. 76–81.

3. Хмельнюк М.Г. Современные технологии осушения воздуха / М.Г. Хмельнюк, Д.И. Важинский, Н.В. Жихарева // Холодильная техника и технология. – 2014. – Т. 50, № 3. – С. 15–21.

4. Окольнишников В.В. Использование имитационного стенда при разработке систем автоматизированного управления // Проблемы информатики. – 2008. – № 1. – С. 75–79.

5. Скуратов Н.В. Лабораторный стенд для исследования влагообмена капиллярно-пористых тел / Н.В. Скуратов, И.В. Сапожников, Д.А. Самойленко // Современный физический практикум. – 2016. – № 14. – С. 186–189.

6. Аверкин А.Г. Лабораторный стенд для тепловлажностной обработки воздуха / А.Г. Аверкин, Н.В. Коршунова // Вестник Волгоград. гос. архитектурно-строительного ун-та. – 2010. – № 19 (38). – С. 128–132.

7. Абдуллин М.И. Трехмерное прототипирование электрических устройств с использованием 3D-принтера / М.И. Абдуллин, А.А. Басыров, А.А. Николаева // Междунар. академический вестник. – 2018. – № 1-2 (21). – С. 19–21.

8. Лушников Н.Д. Возможности печати 3d-принтера / Н.Д. Лушников, А.Д. Альтерман // Аллея науки. – 2018. – Т. 2, № 6 (22). – С. 879–882.

9. Пономаренко В.И. Использование платформы arduino в измерениях и физическом эксперименте / В.И. Пономаренко, А.С. Караваев // Изв. высш. учеб. завед. Прикладная нелинейная динамика. – 2014. – Т. 22, № 4. – С. 77–90.

10. Новиков С.О. Возможности системы программирования codesys при разработке программного обеспечения и проектировании микропроцессорных систем управления // Изв. высш. учеб. завед. и энергетических объединений СНГ. Энергетика. – 2009. – № 1. – С. 27–35.

11. Вишневский Е.П. Необходимость осушения воздуха и оценка профицита влаги / Е.П. Вишневский, Г.В. Чепурин // Сантехника, отопление, кондиционирование. – 2010. – № 3 (99). – С. 78–83.

НгуенВыонг Ван
Аспирант отд. электроэнергетики и электротехники НИ ТПУ
Эл. почта: vuongoicolen@gmail.com

Устименко Андрей Николаевич
Магистрант отд. электроэнергетики и электротехники НИ ТПУ
Эл. почта: ustimenko.a.n@mail.ru

УДК 519.163

Ю.В. Шабля, А.С. Репкин, В.С. Мельман

Алгоритмы комбинаторной генерации для множества комбинаторных объектов, определяемых транспонированным числовым треугольником Каталана

Представлены результаты апробации модификации метода построения алгоритмов комбинаторной генерации на основе деревьев И/ИЛИ. В качестве комбинаторного множества рассмотрено множество комбинаторных объектов, описываемых транспонированным числовым треугольником Каталана. Для данного комбинаторного множества были разработаны алгоритмы представления множества в виде структуры дерева И/ИЛИ, а также алгоритмы ранжирования и генерации по рангу.
Ключевые слова: комбинаторная генерация, дерево И/ИЛИ, алгоритм, ранжирование, генерация по рангу, транспонированный треугольник Каталана.

Транспонированный треугольник Каталана

Рассмотрим элементы транспонированного числового треугольника Каталана (последовательность A033184 в онлайн-энциклопедии целочисленных последовательностей OEIS [3]), которые будем обозначать как CT_n^m. Согласно [4], известны явная формула для $1 \le m \le n$

$$CT_n^m = \frac{m}{2n-m}\binom{2n-m}{n}$$

и рекуррентное соотношение

$$CT_n^m = CT_{n-1}^{m-1} + CT_n^{m+1}, \quad CT_n^0 = 0, \quad CT_n^n = 1. \qquad (1)$$

Кроме того, значения CT_n^m определяются следующей производящей функцией:

$$C(x,y) = \sum_{n>0}\sum_{m>0} CT_n^m x^n y^m = \frac{yC(x)}{1-yC(x)},$$

где

$$C(x) = \frac{1-\sqrt{1-4x}}{2} = \sum_{n>0} C_{n-1}x^n$$

является производящей функцией чисел Каталана C_n [5]. Благодаря наличию связи с треугольником Каталана, элементы транспонированного треугольника Каталана обладают целым набором комбинаторных интерпретаций. Например, такими комбинаторными объектами являются некоторые классы деревьев (двоичные деревья из n вершин с m вершинами на левой ветви, упорядоченные деревья из n ребер с самым левым листом на уровне m) или путей Дика (пути Дика длины $2n$ с m возвратными шагами, пути Дика длины $2n$ с первым пиком на высоте m).

Рассмотрим процесс разработки алгоритмов ранжирования и генерации по рангу для комбинаторного множества путей Дика длины $2n$ с m возвратными шагами с помощью модифицированного метода построения алгоритмов комбинаторной генерации на основе деревьев И/ИЛИ [6].

Таблица 1

Несколько первых значений транспонированного числового треугольника Каталана

n / m	1	2	3	4	5	6	7	8
1	1	0	0	0	0	0	0	0
2	1	1	0	0	0	0	0	0
3	2	2	1	0	0	0	0	0
4	5	5	3	1	0	0	0	0
5	14	14	9	4	1	0	0	0
6	42	42	28	14	5	1	0	0
7	132	132	90	48	20	6	1	0
8	429	429	297	165	75	27	7	1

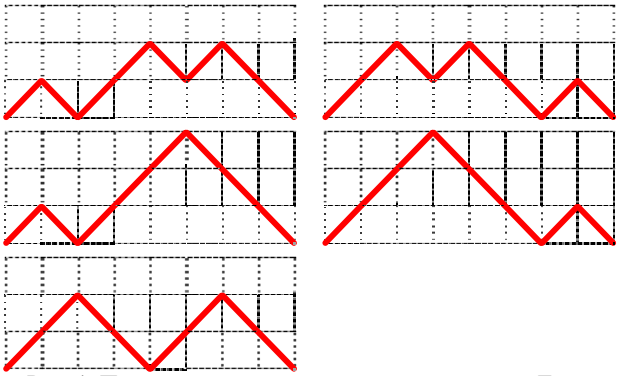


Рис. 1. Пример всех возможных вариантов путей Дика длины $2n = 8$ с $m = 2$ возвратными шагами

Путь Дика длины $2n$ – это решетчатый путь на верхней плоскости (выше оси абсцисс), который начинается в координате (0,0), заканчивается в ($2n$,0)

и состоит из шагов (1,1), называемых подъемами, и (1,−1), называемых спусками [7]. Возвратный шаг – это спуск, возвращающий путь Дика на ось абсцисс. На рис. 1 представлен пример всех возможных вариантов путей Дика длины $2n = 8$ с $m = 2$ возвратными шагами.

Представление комбинаторного множества в виде структуры дерева И/ИЛИ

В качестве выражения функции мощности множества путей Дика длины $2n$ с m возвратными шагами, принадлежащего алгебре $\{\mathbb{N},+,\times,R\}$, воспользуемся формулой (1). Данному выражению соответствует структура дерева И/ИЛИ, представленная на рис. 2.

Биекция между элементами комбинаторного множества и множества вариантов дерева И/ИЛИ определяется следующим правилом:

– Если путь Дика находится на оси абсцисс, то необходимо совершить один подъем.

– Каждый переход по левой ветви дерева И/ИЛИ соответствует спуску, а переход по правой ветви – подъему.

– Если дошли до листа дерева И/ИЛИ ($m = n$), тогда необходимо сделать дополнительно n спусков.

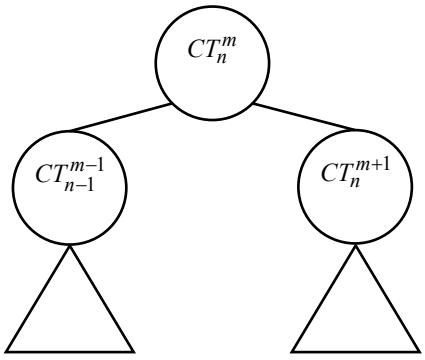


Рис. 2. Дерево И/ИЛИ для множества путей Дика длины $2n$ с m возвратными шагами

Для компактного представления будем кодировать варианты дерева И/ИЛИ последовательностью значений номеров выбранных в нем дуг ИЛИ-узлов, полученных при его левостороннем обходе (0 соответствует переходу по левой ветви, 1 – переходу по правой ветви). Пути Дика длины $2n$ будем кодировать в виде последовательности шагов $a = (a_1,\ldots,a_{2n})$, где $a_i \in$ {'u','d'}, 'u' – обозначение шага-подъема, 'd' – обозначение шага-спуска.

Алгоритмы комбинаторной генерации

В алгоритмах 1 и 2 представлена реализация биекции между элементами комбинаторного множества путей Дика длины $2n$ с m возвратными шагами и множества вариантов дерева И/ИЛИ.

На основе общих алгоритмов ранжирования и генерации по рангу вариантов дерева И/ИЛИ [8] были получены соответствующие алгоритмы 3 и 4 для дерева И/ИЛИ для множества путей Дика длины $2n$ с m возвратными шагами.

Оценка вычислительной сложности для алгоритмов 1 и 2 равна $O(n)$. Данное значение складывается из количества итераций цикла for ($2n$ раз). Для алгоритмов 3 и 4 оценка вычислительной сложности равна $O((n-m)^2)$. Данное значение складывается из вычислительной сложности $O(n-m)$ для расчета значения CT_n^m и количества рекурсивных вызовов ($2n-m$ раз).

1. Алгоритм отображения последовательности a для пути Дика длины $2n$ с m возвратными шагами в вариант v дерева И/ИЛИ.

```
DyckPathRSToVariant(a,n,m)
begin
    v := ( )
    l := 0
    k := 0
    for i := 1 to 2n do
        if l = 0 then l := l + 1
        else
            if a_i = 'd' then
                l := l – 1
                v := concat(v,0)
            end
            else
                l := l + 1
                k := k + 1
                v := concat(v,1)
            end
            if k = n – m then return v
        end
    end
end
```

2. Алгоритм отображения варианта v дерева И/ИЛИ в последовательность a для пути Дика длины $2n$ с m возвратными шагами.

```
VariantToDyckPathRS(v,n,m)
begin
    a := (a_1,…,a_2n)
    l := 0
    k := 0
    for i := 1 to 2n do
        if l = 0 then
            l := l + 1
            a_i := 'u'
        end
        else
            k := k + 1
            if k > |v| then
                l := l – 1
                a_i := 'd'
            end
            else
                if v_k = 0 then
                    l := l – 1
                    a_i := 'd'
                end
                else
                    l := l + 1
                    a_i := 'u'
                end
            end
        end
    end
    return a
end
```

3. Алгоритм ранжирования варианта v дерева И/ИЛИ, соответствующего пути Дика длины $2n$ с m возвратными шагами.

RankVariant_DyckPathRS(v,n,m)
begin
if $m = n$ **then return** 0
if $v_1 = 0$ **then**
r := RankVariant_DyckPathRS((v_2,…),n–1,m–1)
else
r := RankVariant_DyckPathRS((v_2,…),n,m+1) + CT_{n-1}^{m-1}
return r
end

4. Алгоритм генерации по рангу варианта v дерева И/ИЛИ, соответствующего пути Дика длины $2n$ с m возвратными шагами.

UnrankVariant_DyckPathRS(r,n,m)
begin
if $m = n$ **then return** ( )
$l := CT_{n-1}^{m-1}$
if $r < l$ **then**
v := concat(0,UnrankVariant_DyckPathRS(r,n–1,m–1))
else
v := concat(1,UnrankVariant_DyckPathRS(r–l,n,m+1))
return v
end

Совокупность алгоритмов 1 и 3 в виде последовательного их применения образуют алгоритм DyckPathRS_Rank(a,n,m) для ранжирования множества путей Дика длины $2n$ с m возвратными шагами. Совокупность Алгоритмов 2 и 4 в виде последовательного их применения образуют алгоритм DyckPathRS_Unrank(r, n, m) для генерации по рангу множества путей Дика длины $2n$ с m возвратными шагами.

В табл. 2 представлен пример полученных результатов для случая $n = 5$ и $m = 2$.

Таблица 2

Пример ранжирования множества путей Дика длины $2n$ с m возвратными шагами при $n = 5$ и $m = 2$

Путь Дика	Код варианта дерева И/ИЛИ	Ранг
u d u u d u d u d d	(0,1,0,1,0,1)	0
u d u u d u u d d d	(0,1,0,1,1)	1
u d u u u d d u d d	(0,1,1,0,0,1)	2
u d u u u d u d d d	(0,1,1,0,1)	3
u d u u u u d d d d	(0,1,1,1)	4
u u d d u u d u d d	(1,0,0,1,0,1)	5
u u d d u u u d d d	(1,0,0,1,1)	6
u u d u d d u u d d	(1,0,1,0,0,1)	7
u u d u u d d u d d	(1,0,1,0,1)	8
u u d u u u d d d d	(1,0,1,1)	9
u u u d d d u u d d	(1,1,0,0,0,1)	10
u u u d d u d d u d	(1,1,0,0,1)	11
u u u d u d d d u d	(1,1,0,1)	12
u u u u d d d d u d	(1,1,1)	13

На основе системы компьютерной алгебры «Maxima» [9] была разработана программа для ранжирования и генерации по рангу элементов комбинаторного множества путей Дика длины $2n$ с m возвратными шагами. Используя программную реализацию, был проведен ряд вычислительных экспериментов, направленных на выявление зависимостей времени вычислений от значений параметров исследуемого комбинаторного множества. Результаты проведенных вычислительных экспериментов полностью подтверждают полученные теоретические оценки вычислительной сложности.

Заключение

Разработанные алгоритмы ранжирования и генерации по рангу для множества комбинаторных объектов, определяемых транспонированным числовым треугольником Каталана, позволяют кодировать такие объекты в виде ранга, что, в свою очередь, приводит к сокращению количества хранимой информации. Созданное программное обеспечение позволяет в автоматизированном режиме решать задачи по ранжированию и генерации по рангу элементов комбинаторного множества путей Дика длины $2n$ с m возвратными шагами.

Работа по разработке алгоритмов комбинаторной генерации выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 18-31-00201). Программная реализация разработанных алгоритмов выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ в рамках базовой части государственного задания ТУСУР на 2017–2019 годы (проект № 2.8172.2017/8.9).

Литература

1. Кнут Д.Э. Искусство программирования. – Т. 4, А: Комбинаторные алгоритмы. – Ч. 1. – М.: Вильямс, 2013. – 960 с.

2. Ruskey F. Combinatorial generation. Working version (1j-CSC 425/520). – 2003. – 311 p. – URL: http://page.math.tu-berlin.de/~felsner/SemWS17-18/Ruskey-Comb-Gen.pdf (дата обращения: 19.09.2019).

3. Sloane N.J.A. The on-line encyclopedia of integer sequences. – URL: https://oeis.org (дата обращения: 19.09.2019).

4. Deutsch E. Dyck path enumeration // Discrete Mathematics. – 1999. – Vol. 204, No 1-3. – P. 167–202.

5. Stanley R.P. Enumerative combinatorics. – USA: Cambridge University Press, 2001. – Vol. 2. – 595 p.

6. Шабля Ю.В. Модификация метода построения алгоритмов комбинаторной генерации на основе применения теории производящих функций / Ю.В. Шабля, Д.В. Кручинин // Доклады ТУСУР. – 2019. – Т. 22, № 3 [в печати]

7. Ландо С.К. Введение в дискретную математику. – М.: Изд-во МЦНМО, 2014. – 264 с.

8. Шабля Ю.В. Исследование метода построения алгоритмов генерации комбинаторных объектов на основе деревьев И/ИЛИ / Ю.В. Шабля, В.С. Мельман, А.С. Репкин // Матер. докл. XIV Междунар. науч.-практ. конф. «Электронные средства и системы управления». – Ч. 2. – Томск: В-Спектр, 2018. – С. 20–22.

9. Maxima, a Computer Algebra System. – URL: http://maxima.sourceforge.net (дата обращения: 19.09.2019).

Шабля Юрий Васильевич
М.н.с. каф. КИБЭВС ТУСУРа
ORCID 0000-0002-9695-7493
Эл. почта: shablya-yv@mail.ru

Репкин Андрей Сергеевич
М.н.с. института системной интеграции и безопасности (ИСИБ) ТУСУРа
Эл. почта: repkin572@gmail.com

Мельман Вадим Сергеевич
Эксперт 1 кат. отд. по Томской области
Сибирского главного управления Центрального банка РФ
Эл. почта: vadiamylman@yandex.ru

УДК 622.276.53

М.П. Сухоруков, Д.С. Торгаева, Н.А. Шаляпина

Методы регулирования подачи установки штангового глубинного насоса

Рассматриваются методы регулирования подачи установки штангового глубинного насоса (УШГН). Предложена классификация методов по типу регулируемого технологического параметра. В качестве основных параметров выбраны: забойное давление, динамический уровень жидкости и объем откачиваемой жидкости. В результате анализа преимуществ и недостатков каждого класса методов сформулированы основные требования к методам управления УШГН, которые соответствуют современным тенденциям развития нефтегазодобывающей отрасли.

Ключевые слова: установка штангового глубинного насоса, штанговый глубинный насос, регулирование подачи, система управления.

За последнее время в нефтегазодобывающей отрасли среди всех возможных типов насосных установок наибольшую востребованность имеют установки штангового глубинного насоса (УШГН). Основной тому причиной является возможность применения УШГН в сложных условиях эксплуатации, связанными с климатическими условиями и геологическими особенностями текущего местоположения скважины [1].

Принцип работы УШГН заключается в том, что наземный привод – станок-качалка посредством колонны штанг приводит в работу штанговый глубинный насос (ШГН), который обеспечивает перемещение пластовой жидкости из забоя скважины по колонне подъемных труб на поверхность.

Будучи автоматизированной системой, работа современной УШГН контролируется системой управления (СУ). Алгоритм управления, заложенный в СУ, реализует две функции:

1. Регулирование подачи УШГН.

2. Мониторинг неисправностей оборудования УШГН [2, 3].

Первостепенной функцией любой СУ является регулирование подачи насоса, которое осуществляется посредством контроля определенных технологических параметров. Для обеспечения выполнения данной функции существует множество методов, которые, как правило, требуют реализации сложных алгоритмов управления, не гарантируют высокую точность и надёжность вычислений.

Для того чтобы устранить указанные недостатки существует два пути решения: усовершенствовать существующие методы, либо создать новые. На пути принятия верного варианта решения возникает важная промежуточная задача обзора существующих методов с целью анализа их достоинств и недостатков относительно сложившихся современных тенденций в направлении разработки систем управления ШГН.

Таким образом, в статье авторами приводятся результаты проведенного обзорного анализа, на основе которого предложена классификация существующих методов регулирования подачи УШГН и сформулированы требования к перспективным методам управления УШГН.

Методы регулирования подачи УШГН

К технологическим параметрам, характеризующим работу оборудования, поднимающего на поверхность пластовую жидкость, относятся:

– усилие в тяговом элементе;

– динамический уровень жидкости.

– значение потребляемой электродвигателем мощности;

– состояние оборудования;

– объем добываемой жидкости (дебит);

– давление в выкидной линии глубиннонасосного оборудования и в затрубном пространстве.

В результате обзора современных методов регулирования подачи, определены наиболее распространенные технологические параметры, влияющие на процесс формирования управляющего воздействия. На рис. 1 представлена упрощенная классификация методов регулирования подачи УШГН.

Дальнейший анализ методов будет изложен в соответствии с предложенной классификацией.

Давление

Первая группа методов основана на поддержании в скважине оптимального забойного давления. Метод, основанный на прямом измерении давления, заключается в следующем. В качестве сигнала обратной связи используется сигнал дистанционного глубинного манометра, опущенного в скважину. При снижении забойного давления, регистрируемого манометром, система управления увеличивает

скорость откачивания до установления первоначальных значений забойного давления и дебита. Ситуация, когда УШГН производит откачивание жидкости на максимальной скорости, а давление на забое продолжает падать, свидетельствует об исчерпании запаса производительности установки. Также измерение забойного давления может быть произведено косвенно по динамограмме [4]. Однако данный способ измерения осуществляется редко в связи с необходимостью реализации сложных математических моделей и низкой точностью.



Рис. 1. Классификация методов регулирования подачи УШГН

Достоинством методов регулирования подачи УШГН, относящихся к первой группе, является их простота, но спуск датчиков давления в скважину является дорогим и трудоемким, поскольку требует прокладки питающего кабеля, который подвержен обрывам и коррозии. Определение же изменения давления на приеме насоса требует реализации сложных вычислений для получения достоверных результатов.

Динамический уровень

Вторая группа методов основана на поддержании в затрубном пространстве нефтяной скважины постоянного положения динамического уровня жидкости. Здесь в качестве сигнала обратной связи используется сигнал датчика уровня жидкости. Далее вычисляется рассогласование между заданным и измеренным уровнями и устанавливается время работы двигателя в цикле управления. Такой подход лежит в основе целого ряда алгоритмов регулирования, различающихся лишь способом определения изменения динамического уровня и синтезом закона изменения управляющего воздействия [5].

Текущее положение динамического уровня жидкости может быть определено косвенно по динамограмме и ваттметрограмме. В первом случае при помощи информации, полученной от датчиков усилия и перемещения полированного штока, строится теоретическая динамограмма. При помощи математической модели вычисляется положение плунжера в текущий момент времени. Далее на основании полученных значений производится вычисление динамического уровня жидкости и формируется соответствующее управляющее воздействие [6].

На основе обработки динамограмм в работе [7] предлагается метод стабилизации динамического уровня жидкости в затрубном пространстве. Метод включает измерение динамограммы с помощью датчика усилия, расположенного на полированном штоке, и прямого измерения динамического уровня жидкости. Начальную скорость откачивания подбирают таким образом, чтобы при заданном дебите скважины динамограмма указывала на незначительное (около 5–7%) незаполнение цилиндра. При этом прием глубинного насоса располагают непосредственно у динамического уровня, соответствующего заданному дебиту скважины. Колебания динамического уровня, регистрируемые датчиком, через блок управления передаются сервоприводу вариатора, изменяющего число качаний балансира станка-качалки. Стабильность процесса контролируют по показаниям датчика усилия и датчика уровня, которые одновременно должны соответствовать заранее заданному дебиту скважины. При повышении уровня, вследствие снижения производительности насоса, в динамограмме признак незаполнения исчезает, что служит сигналом для увеличения скорости откачки. При снижении динамического уровня из-за падения пластового давления или образования песчаной пробки на забое объем незаполнения цилиндра увеличивается, и скорость откачки автоматически снижается.

Существует алгоритм, осуществляющий стабилизацию уровня жидкости на глубине, заданной технологом [8]. Для этого уровень жидкости заранее выводят на заданный уровень, в систему вводят данные о допустимом диапазоне частот качаний балансира $[N_{\min}, N_{\max}]$ для выбранного привода, передаточные числа редуктора и клиноременной передачи, с помощью которых вводится регуляризующий коэффициент. Затем запускаются циклы сканирования, состоящие из 6 качаний на минимальной и максимальной скоростях откачивания, во время которых происходит вычисление максимальных энергий, потребленных приводом за циклы откачивания (W (кВт·с) при $N_{\max}$, w (кВт·с) при $N_{\min}$), с помощью которых выводится коэффициент зависимости энергии от скорости (1):

$$k = \frac{W - w}{N_{\max}(1-\alpha) - N_{\min}}, \quad (1)$$

а также расчетная энергия (2) для текущей скорости при полном насосе, используемая впоследствии в системе управления в качестве задатчика:

$$E_{\text{расч}} = w + k(N_{\text{тек}} - N_{\min}). \quad (2)$$

Далее реализуется система управления с пропорциональным регулятором. В каждый момент

времени происходит вычисление задатчика в зависимости от скорости откачивания. Затем происходит вычисление сигнала ошибки на основании значения текущей измеренной энергии ($N_{тек}$) (энергия вычисляется как сумма моментов за цикл откачивания) и вычисленного задатчика, который пересчитывается в сигнал управляющего воздействия.

Во втором случае для определения динамического уровня жидкости по ваттметрограмме в работе [9] предлагается использовать виртуальный датчик на основе нейронной сети, датчик устьевого и затрубного давлений, а также датчик плотности нефти. Ваттметрограмма, полученная с помощью датчика мощности, пропускается через фильтр нижних частот и дискретизируется по времени с шагом, равным 0,01 от периода качания. Данные с дискретизатора, датчиков давления и плотности поступают на вход нейронной сети, которая определяет значение динамического уровня (рис. 2).

Несмотря на то, что метод обеспечивает высокую точность в определении положения динамического уровня, он обладает недостатками, которые ограничивают сферу его применения. Во-первых, требуется оснащение скважины большим количеством датчиков физических величин. Во-вторых, искусственная нейронная сеть спроектирована таким образом, что для принятия решения о положении динамического уровня ей необходимо обработать большое количество входных параметров. В процессе работы системы может возникнуть ситуация, при которой потребуется переобучение сети, что, в свою очередь, требует остановки работы всей системы.

Вторая группа методов является наиболее часто используемой. Существенной проблемой является осуществление прямого измерения динамического уровня жидкости, поскольку существующие способы дороги или обладают невысокой точностью. Косвенное измерение динамического уровня по динамограмме и ваттметрограмме требуют реализации сложных математических моделей, для адекватной работы которых требуется точное измерение и ввод большого числа переменных во времени параметров.

Дебит

Третья группа методов автоматического регулирования подачи УШГН предусматривает поддержание постоянного объема жидкости (дебита), проходящей по выкидной линии скважины. При измерении количества добываемой жидкости расходомером снижение измеренной величины ниже заданного уровня будет свидетельствовать об уменьшении скорости притока, что приведет к увеличению системой управления скорости откачивания, при этом причины, вызвавшие снижение притока, не рассматриваются и не исследуются. Метод откачивания, использующий в качестве сигнала обратной связи сигнал расходомера, является наиболее простым.

Существует множество методов, основанных на данном принципе, различающихся только способами определения дебета жидкости. Так, например, в работе [10] расчет дебита жидкости производится косвенно по динамограмме с использованием специальных формул. В работе [11] предложен энергетический подход к определению дебита жидкости. Для этого по площади динамограммы производится оценка работы E по подъему скважинной жидкости. Дебит жидкости при этом рассчитывается по формуле (3):

$$Q = \frac{50 \cdot E \cdot \eta \cdot S}{10000 \cdot H}, \qquad (3)$$

где H – глубина погружения насоса, м; S – ход полированного штока, м; η – коэффициент подачи установки, $\eta \in [0, 1]$.

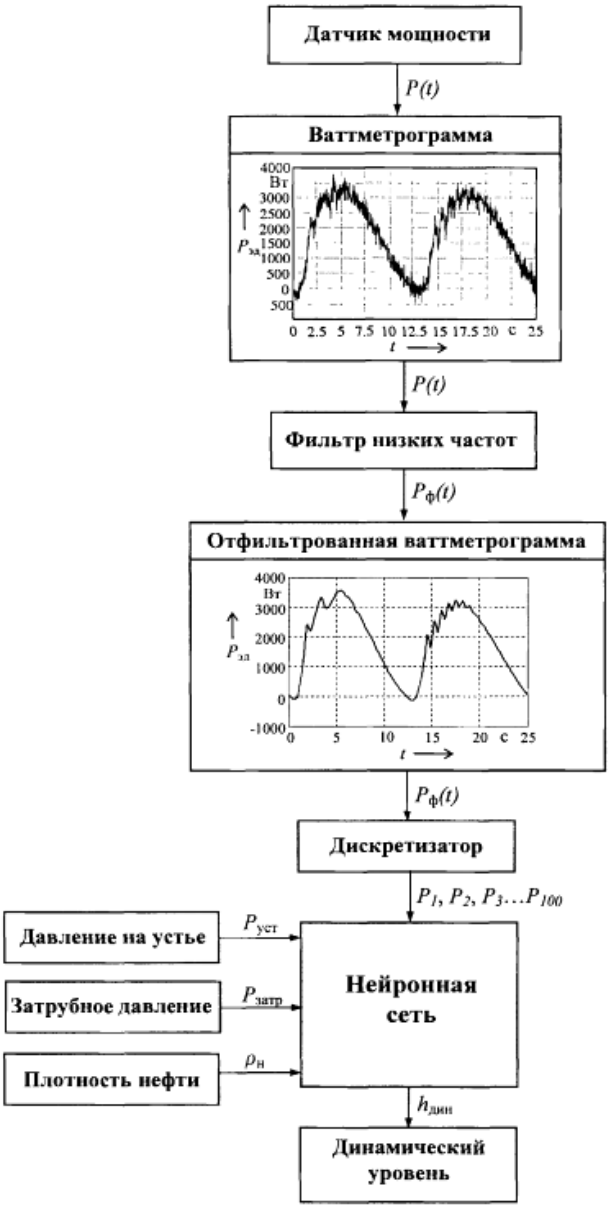


Рис. 2. Метод определения динамического уровня по ваттметрограмме на основе нейронных сетей

Существует метод определения объема добываемой жидкости по ваттметрограмме [12]. Он заключается в следующем. Строится кривая, соответствующая мощности, потребляемой электродвигате-

лем, при ходе колонны штанг вниз (рис. 3). Из этой кривой выделяется участок, соответствующий второй гармонике по отношению к частоте качания ШГН. Далее строится разностная кривая (рис. 4), на которой фиксируется момент начала нарастания мощности. По величине мощности определяется коэффициент заполнения насоса.

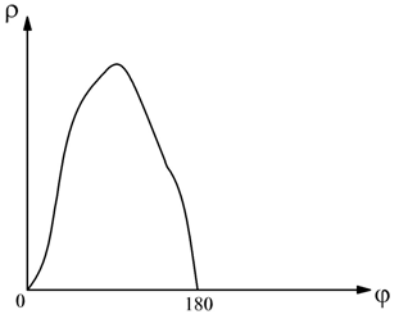


Рис. 3. Кривая потребляемой электроприводом мощности штангового глубинного насоса при ходе штанг вниз

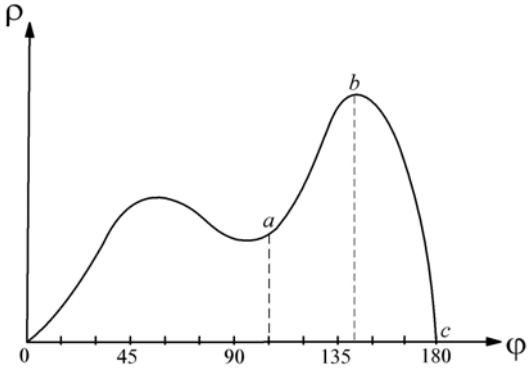


Рис. 4. Разностная кривая мощности

На рис. 4 координата разгрузки обозначена точкой *a*. При ходе штанг вниз плунжер с подвижным клапаном перемещается сначала в незаполненной части объема насоса. Когда подвижный клапан при ходе штанг вниз соприкоснется с нефтью в насосе, подвижный клапан откроется и произойдет разгрузка штанг на величину столба поднимаемой нефти в скважине. В свою очередь, эта разгрузка приведет к естественной разбалансировке станка-качалки и, как следствие этого, к увеличению потребляемой мощности электродвигателем. Увеличение мощности происходит до его максимального пика по линии *a–b*, соответствующей переднему фронту максимальной пики мощности. Нарастание переднего фронта максимального пика мощности начинается в точке *a*. Полная длина хода плунжера пропорциональна длине ее абсцисс, т.е. длине dl. Часть пути плунжер на отрезке ∂l перемещается в незаполненном по высоте объеме насоса $d'l$. Следовательно, коэффициент заполнения насоса K определяется как (4)

$$K = \frac{d'l}{dl}. \quad (4)$$

Коэффициент заполнения насоса практически всегда меньше единицы. Исходя из этого соотношения, можно определить дебит жидкости (5):

$$Q = K\frac{\pi d^2}{4}Sn, \quad (5)$$

где d – диаметр насоса, м; S – длина хода насоса, м; n – число качаний балансира в минуту.

Третья группа методов является наиболее целесообразной, поскольку не требует использования внутрискважинных датчиков. Однако, как и в случае со второй группой, большим недостатком является цена современных расходомеров, обладающих необходимыми для осуществления управления установкой точностью и надежностью. Существенным недостатком методов определения количества откачиваемой жидкости по динамограмме является то, что динамограмма позволяет определить лишь теоретическую производительность ШГН, а не фактический дебит жидкости на устье скважины [13].

Заключение

Представленные в статье методы имеют свои достоинства и недостатки. Они могут применяться в различных системах управления в зависимости от конструкции и измеряемых технологических параметров.

Сравнительный анализ методов регулирования подачи УШГН показал, что наиболее оптимальным способом решения задачи регулирования подачи является применение методов стабилизации динамического уровня, основанных на математической обработке сигнала ваттметрограммы [14]. Данные методы не предусматривают прямого измерения величины динамического уровня, требуют для реализации минимальное число параметров оборудования, а также обладают универсальностью и адаптивностью, поскольку осуществляют вычисление необходимых параметров, исходя из реакции объекта управления на управляющие воздействия.

Существующие методы обладают низкой точностью и надежностью. В частности, для реализации метода [8] требуется заранее рассчитать необходимое положение динамического уровня жидкости для оптимального режима работы УШГН, что связано с определенными техническими и экономическими трудностями. Кроме того, зависимость потребляемой установкой за единицу времени мощности от частоты откачивания является нелинейной, пусть и имеет низкий коэффициент нелинейности. Следовательно, вычисленный в процессе реализации алгоритма коэффициент пропорциональности, позволяющий производить нормирование значения уставки потребляемой энергии в зависимости от частоты откачивания, вносит определенную погрешность в закон управления.

Таким образом, можно сделать вывод, что для построения надежной универсальной системы управления УШГН необходима разработка метода адаптивного управления без проведения измерения динамического уровня, учитывающего логику работы объекта управления.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках проекта ФЦП «Исследования и

разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014–2020 годы», Соглашение № 14.574.21.0157 (уникальный идентификатор RFMEFI57417X0157).

Литература

1. Торгаева Д.С. Моделирование усилий на полированном штоке штангового глубинного насоса для добычи нефти / Д.С. Торгаева, М.П. Сухоруков, Ю.А. Шиняков, Н.А. Шаляпина // Матер. конф. «Новые информационные технологии в исследовании сложных структур». – Томск: Изд. Дом ТГУ., 2018. – 52 с.

2. Mathematical simulation of sucker rod pump and its control system / Y. Shinyakov, M. Sukhorukov, D. Torgaeva, N. Shalyapina // International Journal of Mechanical Engineering and Technology. – 2018. – № 9. – P. 1141–1147.

3. Methods and facilities for monitoring the operation of a sucker rod pump / Y. Shinyakov, M. Sukhorukov, D. Torgaeva, A. Soldatov // International Journal of Mechanical Engineering and Technology. – 2018. – № 9. – P. 1224–1231.

4. Самойлов Д.Ю. Информационно-измерительная и управляющая система для интенсификации добычи нефти и определения обводненности продукции скважин: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.11.16. – Уфа, 2019. – 22 с.

5. Analysis of methods for measuring the liquid level in the annular space of an oil well / Y. Shinyakov, M. Sukhorukov, D. Torgaeva, A. Soldatov, N. Shalyapina, D. Li // MATEC Web of Conferences. – 2018. – Vol. 158.

6. Исмагулова А.И. Моделирование процесса измерения динамического уровня жидкости в штанговой глубинно-насосной установке на основе средств динамометрирования / А.И. Исмагулова, Н.Г. Романенко // Вестн. Астрахан. гос. техн. ун-та. Сер.: Управление, вычисл. техн. информ. – 2013. – № 1. – С. 29–37.

7. Рзаев А.Г. Автоматическое регулирование подачи глубинного насоса / А.Г. Рзаев, С.Р. Расулов, С.Ф. Бабаев // Транспорт и хранение нефтепродуктов и углеводородного сырья. – 2018. – № 4. – С. 43–45.

8. Ахметгараев Р.Т. Принцип поддержания уровня жидкости в скважине / Р.Т. Ахметгараев, Н.К. Андреев // Изв. высш. учеб. завед. Проблемы энергетики. – 2013. – № 1-2. – С. 132–136.

9. Сакаев А.Ф. Системы и алгоритмы энергосберегающего управления частотно-регулируемыми электроприводами штанговых скважинных насосных установок: дис. ... канд. техн. наук. – СПб., 2009. – 149 с.

10. Тахаутдинов Ш.Ф. Обработка практических динамограмм на ПЭВМ / Ш.Ф. Тахаутдинов, Р.Г. Фархуллин, Р.Х. Муслимов и др. – Казань: Новое знание, 1997. – 76 с.

11. Пат. 1571228 СССР, МПК Е 21 В 47/10. Устройство для измерения дебита скважины / В.О. Кричке, А.И. Миряев, А.Г. Самсонов, А.С. Шмуклер. – № 2 013 128 779/ 03; заявл. 06.04.1988; опубл. 15.06.1990. Бюл. № 31.

12. Пат. 2018650 РФ, МПК Е 21 В 47/10. Дебитомер / В.О. Кричке. – № 4 908 568/ 03; заявл. 17.12.1990; опубл. 30.08.1994.

13. К вопросу об определении дебита жидкости на устье скважины по динамограмме / В.И. Чудин, В.М. Валовский, В.В. Самойлов, И.И. Лобода. – http://www.nponts.ru/press_center/articles/item-94/.

14. Сухоруков М.П. Метод математической обработки ваттметрограмм для диагностики состояния установок штангового глубинного насоса / М.П. Сухоруков, Н.А. Шаляпина, Д.С. Тограева // Матер. докладов XIV Междунар. науч.-практ. конф. «Электронные средства и системы управления». 28–30 ноября 2018 г.: в 2 ч. – Томск: В-Спектр, 2018. – Ч. 1. – С. 126–129.

Сухоруков Максим Петрович
Зав. лаб. цифровых систем управления
НИИ космических технологий ТУСУРа
Эл. почта: max_sukhorukov@mail.ru

Торгаева Дарья Сергеевна
Мл. науч. сотр. лаб. цифровых систем управления
НИИ космических технологий ТУСУРа
Эл. почта: belial1349@mail.ru

Шаляпина Наталия Андреевна
Мл. науч. сотр. лаб. цифровых систем управления
НИИ космических технологий ТУСУРа
Эл. почта: nat.shalyapina@gmail.com

УДК 621.311

Д.Р. Уразаев, Д.С. Брагин, Д.Д. Зыков, И.В. Поспелова

Интеллектуальная система управления распределенной энергетикой

Распределительная сеть становится активной за счет роста доли распределенной генерации, вследствие чего существенно усложняется диспетчерское и автоматическое управление. Целью работы является разработка структуры интеллектуальной системы управления распределенной энергетикой.
Ключевые слова: распределенная энергетика, управление спросом, система управления.

В настоящее время все более актуальным становится переход от традиционной схемы организации энергоснабжения потребителей к новым технологиям и практикам, подразумевающим децентрализацию, цифровизацию и интеллектуализацию систем энергосбережения с активным вовлечением потребителей в генерацию и управление всеми видами энергоресурсов. Темпы роста глобального рынка технологий распределенных энергоресурсов составляют порядка 6–9% в год. По прогнозам специалистов, приведенным в исследовании Энергетического центра Московской школы управления «Сколково» «Распределенная энергетика в России: потенциал развития» [1], архитектура создаваемой распреде-

ленной энергетики будет включать в себя следующие элементы:

– управляемые интерфейсы, которые позволят обеспечить интеграцию в систему активных устройств распределенной энергетики;

– «маршрутизаторы/роутеры энергии» – устанавливаются на «границах» энергосистем различного масштаба и предназначены для интеллектуального управления режимом энергообмена между системами;

– платформы управления и сервисов позволят обеспечить унифицированный доступ ко всем распределенным энергоресурсам и «маршрутизаторам энергии», организовать гибкую систему обмена данными между элементами распределенной энергетики и иными сервисами, гармонизировать экономические отношения между старыми и новыми субъектами электроэнергетики.

Большинство создаваемых платформенных решений включают в себя только часть элементов из вышеперечисленного перечня. Функция управления спросом на данный момент реализована лишь у некоторых отечественных крупных потребителей энергии (предприятия ОК РУСАЛ). Для населенных пунктов подобный опыт системного характера есть только у зарубежных компаний.

Управление спросом

Управление спросом – добровольное изменение уровня энергопотребления потребителем в ответ на изменение цены или режимную ситуацию, отражающуюся на надежности энергосистемы. В России используется термин «ценозависимое управление спросом» [2].

Ценозависимое управление спросом как неотъемлемый элемент ресурсосберегающей энергетики в Российской Федерации начало развиваться с принятием Постановления Правительства РФ от 20 июля 2016 г. № 699 «О внесении изменений в Правила оптового рынка электрической энергии и мощности» [3] и по состоянию на 2019 год касается только крайне незначительных в масштабах энергосистемы объемов потребляемой мощности. Основные цели ценозависимого управления спросом – уменьшение пиковых нагрузок для ухода от строительства пиковых электростанций и электрических сетей, снижение стоимости ресурсов на оптовом рынке, уменьшение вероятности возникновения аварийных ситуаций, интеграция в систему возобновляемых и ресурсосберегающих источников энергии.

28 апреля 2018 г. было принято Постановление Правительства РФ № 830-р об утверждении плана мероприятий («дорожной карты») по совершенствованию законодательства и устранению административных барьеров в целях обеспечения реализации Национальной технологической инициативы по направлению «Энерджинет». 20 марта 2019 г. было принято Постановление Правительства РФ № 287 «О внесении изменений в некоторые акты Правительства Российской Федерации по вопросам функционирования агрегаторов управления спросом на электрическую энергию в Единой энергетической системе России, а также совершенствования механизма ценозависимого снижения потребления электрической энергии и оказания услуг по обеспечению системной надежности» [4], предусматривающее управление спросом потребителей розничного рынка электроэнергии с участием организаций-агрегаторов.

Опираясь на данные исследования Энергетического центра Московской школы управления Сколково «Распределенная энергетика в России: потенциал развития» [1] и анализируя представленные в исследовании примеры реализации задач распределенной энергетики, видим, что в России на 2018 г. ценозависимое управление спросом было реализовано только на предприятиях Алюминиевого дивизиона ОК РУСАЛ. За рубежом подобные работы ведутся с 2013 г. В США, к примеру, ценозависимое управление спросом реализовано в рамках следующих систем:

– система управления спросом и повышения энергоэффективности в Нью-Йорке, США (Brooklyn – Queens Demand Management, BQDM);

– PJM – региональный коммерческий системный оператор оптового рынка электроэнергии, мощности и системных услуг, части или всей территории 13 штатов США и округа Колумбии.

Интеллектуальное управление электроэнергетическими системами

В настоящее время в России все большую актуальность начинают приобретать интеллектуальные системы управления электроэнергетическими сетями (ЭЭС). Под интеллектуальностью здесь стоит понимать способность системы подстраиваться под изменяющиеся условия окружающей среды за счет адаптивных или эвристических алгоритмов. Интеллектуальные системы упрощают процесс управления электроэнергетическими сетями за счет использования устройств для регулирования режимов и установок распределенной генерации (РГ).

Наибольший интерес для энергетиков представляют интеллектуальные системы с целеполаганием. Такие системы имеют несколько целей функционирования, и в зависимости от состояния окружающей среды они выбирают наиболее подходящую в данный момент времени цель. Также системы с целеполаганием обладают функциями прогнозирования состояния окружающей среды и своего собственного состояния. За счет наличия в системе целевой функции управления повышается надежность и бесперебойность функционирования энергосистемы в целом. Существует много методов, задающих системе целевую функцию управления [5]. Одним из базовых методов задания целевой функции является метод обеспечения энергобаланса сети. При использовании данного метода распределение электроэнергии в структуре сети осуществляется автоматически.

Основные функции, выполняемые интеллектуальными системами управления, включают в себя:

– диагностику неисправностей в энергосистеме с функцией уведомления о них в режиме реального времени;

– локализацию возникшей неисправности;

– автоматическую реконфигурацию в сети при возникновении короткого замыкания;

– распределение когеренции с использованием сетевых технологий;

– мониторинг состояния энергосистемы в режиме реального времени с учетом информации, хранящейся о системе в базе знаний;

– использование распределенных технологий моделирования, оптимизации и управления на базе вычислительных сенсорных сетей;

– организация ситуационного ассоциативного управления режимом функционирования энергосистемы с учетом информации о ее предыдущих состояниях;

– организация интеллектуальной системы управления спросом на базе МАС технологий и др.

Интеллектуальная система управления

Рост доли РГ в ЭЭС имеет не только положительные стороны, но и проблемы – распределительная сеть становится активной, вследствие чего существенно усложняется диспетчерское и автоматическое управление [6]. Данная проблема не позволяет решить в полной мере задачу управления энергосистемой на базе существующих методов, в связи с этим требуется разработка новых структурно-алгоритмических подходов.

Для управления спросом на электроэнергию целесообразно использовать интеллектуальные системы управления на основе моделирующей платформы реального времени, реализующие функции балансирования локальной энергосистемы и торговой площадки. Благодаря моделированию можно выполнять диагностику и устранение неполадок в режиме реального времени, прогнозировать аварийные ситуации и способы их предотвращения, определять оптимальные моменты для оказания технического обслуживания, настраивать устройство для оптимальной работы. Для этих целей предлагается включить в систему модуль «Расчеты и моделирование».

Система должна иметь интерфейс с глобальной сетью связи для получения и обработки данных от широкого спектра датчиков и устройств измерения и регистрации параметров электроэнергетической системы. Полученные данные должны храниться в базе данных в течение регламентированного периода. За выполнение данных функций отвечает модуль «Сбор данных».

Для визуального наблюдения за корректным функционированием системы и управления ею требуется модуль «Диспетчеризация».

Использование в системе управления цифровых двойников (ЦД), цифрового представления реального объекта позволяет учесть все данные, которые генерируют сенсоры, связанные с ЦД объекта, а наличие уточняемых моделей функционирования позволяет повышать отказоустойчивость оборудования, системно оптимизировать стоимость обслуживания, учитывать воздействия среды и корректировать саму цифровую модель в ходе эксплуатации объекта. Для оптимизации функционирования системы рекомендуется добавить хранилище ЦД в виде отдельного модуля. Основными функциями модуля «Цифровые двойники» будут являться создание и редактирование элементов энергетической системы и формирование структуры энергетических и информационных потоков между элементами энергетической системы.

Интеллектуальная система управления должна быть способна интегрировать различные потоки энергии, включая нетрадиционные и возобновляемые источники энергии, с управлением процессом в реальном времени и осуществлением регистрации статистических данных или доступа к статистическим данным о режимах и параметрах оборудования. Выполнение данных функций регулируется модулем «Управление исполнительными механизмами». Посредством данного модуля осуществляется отправка команд управления непосредственно к объектам управления и хранения текущих статусов исполнительных механизмов.

Исходя из вышеизложенного, авторами предложена структура интеллектуальной системы управления распределенной энергетикой (рис. 1).

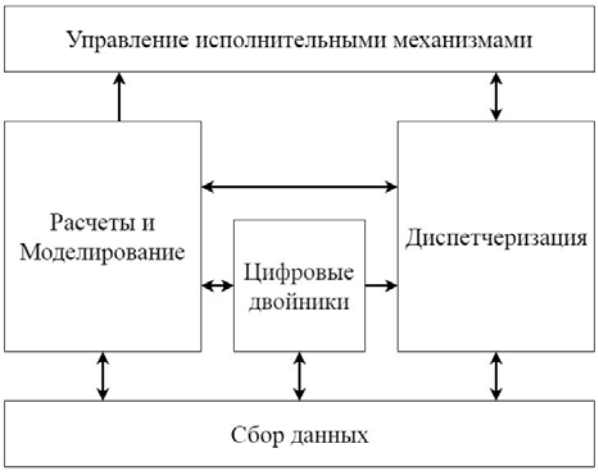


Рис. 1. Структура интеллектуальной системы управления

Заключение

Представлена структура интеллектуальной системы управления распределенной энергетикой. Данная система работает в режиме реального времени и направлена на реализацию новых алгоритмов и методик управления энергосистемой, включая управление её активными элементами.

Последующее развитие проекта включает разработку архитектуры программной платформы и реализацию системы управления объектами распределенной энергетики. Апробация результатов будет проведена на экспериментальном стенде.

Литература

1. Хохлов А. и др. Распределенная энергетика в России: потенциал развития / Энергетический центр «Сколково». – URL: https://energy. skolkovo.ru/downloads/documents/SEneC/Research/SKOLKOVO_EneC_DER-3.0 _2018. – 2018. – Т. 2.

2. Сидоровская Н. Управление спросом на мировых рынках электроэнергии // Профессиональный журнал. – 2015. – №7 (132). – С. 28–34.

3. Постановление Правительства РФ от 20.07. 2016 № 699 «О внесении изменений в Правила оптового рынка электрической энергии и мощности» // КонсультантПлюс. – URL: http://www. consultant.ru/document/cons_doc_LAW _202226/ 92d969e26a4326c5d02fa79b8f9cf4994ee5633b

4. Постановление Правительства РФ от 20.03.2019 № 287 «О внесении изменений в некоторые акты Правительства Российской Федерации по вопросам функционирования агрегаторов управления спросом на электрическую энергию в Единой энергетической системе России, а также совершенствования механизма ценозависимого снижения потребления электрической энергии и оказания услуг по обеспечению системной надежности» // КонсультантПлюс. – URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_ LAW_320896/92d969e26a4326c5d02fa79b8f9cf4994ee5633b/

5. Массель Л.В., Массель А.Г. Разработка интеллектуальных семиотических систем для стратегического ситуационного управления в критических инфраструктурах (на примере энергетики) // Информационные технологии и системы. – 2016. – С. 119–125.

6. Папков Б.В., Осокин В.Л., Куликов А.Л. Об особенностях малой и распределенной генерации в интеллектуальной электроэнергетике // Вестник УГАТУ. – 2018. – Т. 22, № 4 (82). – С. 119–131.

Уразаев Дамир Раисович
Инж.-конструктор
Центра системного проектирования ТУСУРа
Эл. почта: udr@csp.tusur.ru

Брагин Дмитрий Сергеевич
Ст. преп. каф. ТОР ТУСУРа,
Начальник науч.-техн. отд.
Центра системного проектирования ТУСУРа
Эл. почта: bds@csp.tusur.ru

Зыков Дмитрий Дмитриевич
Канд. техн. наук, доцент каф. КИБЭВС ТУСУРа
Эл. почта: dmitry.zykov@tusur.ru

Поспелова Ирина Владимировна
Программист
Центра системного проектирования ТУСУРа
Эл. почта: piv@csp.tusur.ru

УДК 004.522

А.Ю. Якимук

Применение частоты основного тона при обработке музыкальной информации

Частота основного тона применяется во многих направлениях речевых технологий. Использование значений ЧОТ сигнала в вокальном исполнении показывает высокую результативность. Данная работа посвящена исследованию возможности применения алгоритмов анализа частоты основного тона в сфере обработки музыкальной информации. Разработанный программный комплекс позволяет определить более 95% спетых нот в диапазоне от 70 до 800 Гц.

Ключевые слова: частота основного тона, речевые технологии.

Знание значения частоты основного тона (ЧОТ) сигнала в конкретный момент времени имеет важное значение во многих сферах речевых технологий. В таких задачах, как идентификация дикторов значение ЧОТ имеет не ключевую роль, поскольку особый интерес играют форманты, отражающие индивидуальные особенности человека.

Особенности пения как формы речи

Пение может быть рассмотрено как особая форма речи, которая создается таким же образом, но при этом присутствует дополнительный контроль для создания музыкального аспекта. Естественная мелодия речи (просодия) отличается в разных языках и определяет контур высоты тона, вариации громкости, ритм и темп выражения эмоций. В пении же высоту, громкость и тембр определяет в первую очередь композиция за счет того, что для соответствия продолжительности ноты гласные звучат дольше, чем обычно.

Речевые гласные характеризуются особыми позициями формант. В пении положение формант может быть радикально изменено путем изменения длины и формы голосового тракта и положения артикуляторов. Идентичность голоса во многом определяется физическими характеристиками системы производства вокала. Форму голосового тракта определяют форманты, причем две форманты низшего порядка (F1, F2) являются наиболее важными для разборчивости речи, а форманты высшего порядка (F3–F5) способствуют идентификации говорящего. Опытные певцы могут точно контролировать частоты трех нижних формант, варьируя первую форманту с помощью степени раскрытия челюсти, вторую – управляя формой языка и третью положением кончика языка. Разные вокалисты настраивают свои частоты формант по-разному для каждого гласного, причем наиболее яркие различия заключаются в женских голосах сопрано, где высокие значения высоты звука (1000 Гц) по сравнению с обычным значением первой форманты (500 Гц) будут определяться смещением этой форманты близко к ЧОТ. Это может привести к потере разборчивости, но при

классическом пении интонация и музыкальные качества голоса являются наиболее важным аспектом, а разборчивость – вторым.

Обработка музыкальной информации

Обзор исследований по обработке музыки показал, что с точки зрения обработки сигнала мелодия может быть представлена последовательностями ЧОТ, определяемыми в моменты звучания, то есть на участках, где активен инструмент, создающий мелодию. Основные алгоритмы транскрипции мелодии обычно содержат 2 этапа обработки. Во-первых, вычисляется представление, подчеркивающее наиболее вероятные значения ЧОТ во времени, например, в форме матрицы выдачи, матрицы активации источника голоса или расширенной спектрограммы. Во-вторых, двоичная классификация выбранных ЧОТ между мелодическим и фоновым содержанием выполняется с использованием обнаружения мелодического контура и обнаружение голоса.

В [1] представлена система транскрипции для мелодий, включающая в себя 2 модели глубоких нейронных сетей. Для оценки ЧОТ используется система с обучением, способная выделить мелодические линии из спектрограммы. Точность работы на тестовой выборке сильно зависит от объема обучающей. Средняя F-мера для наборов данных iKala и MedleyDB составила 85,06 и 75,03% соответственно. Авторами утверждается, что системы были изучены на относительно небольшом количестве данных, а значит, надежность, особенно для задачи определения наличия звучания, вполне может быть улучшена путем увеличения количества обучающих примеров.

Учеными преследуются такие цели, как создание автоматизированной системы для определения плагиата между двумя отрывками музыкальных воспроизведений и средств для удобного поиска музыки по задаваемым критериям. Перед разрабатываемыми системами ставятся такие задачи как обнаружение пения в музыкальном произведении, классификация жанра, идентификация певца и многие другие. Такие работы, как [2], посвящены вопросу обнаружения иерархической структуры ритма в аудиосигнале с помощью алгоритма обнаружения изменений аккордов. Данный подход не рассматривает задачи по идентификации звучащей ноты. В [3] для оценки схожести гармонии композиций используется графическая вероятностная модель, содержащая информацию об аккорде и ладе момента времени звучания композиции. Авторы в зависимости от стиля определяли вероятность использования аккорда в контексте определенного лада. Преобразование композиций в набор векторов ими осуществлялся на основании принятой в европейской музыкальной традиции идентификации нот относительно абсолютной начальной частоты. Как указано в [4], при обработке музыки возникает сложность с наличием гармоник у некоторых инструментов. Помимо ЧОТ основной ноты, звучат другие частоты, которые могут соответствовать другим нотам. Кроме того, в музыке спектр звукового сигнала чаще всего является суммой спектров отдельных инструментов, где каждым из инструментов воспроизводятся звуки в разных полосах частот.

Применяемый в [5] подход к обнаружению мелодических и басовых линий в звуковом сигнале основан на оценке относительного доминирования каждой возможной ЧОТ, представленного в виде функции плотности вероятности ЧОТ. Проведенный учеными эксперимент показал, что используемая ими система, осуществляющая в реальном времени обработку аудиозаписи, смогла обнаружить требуемую информацию только на 80% участков от всей длительности протестированных записей.

Кроме того, важную роль в исследованиях, посвященных системам поиска музыкальной информации, играет сегментация. Знание структурной информации аудиосигнала позволит облегчить поиск и просмотр музыкальных коллекций, визуализировать музыкальную структуру исполнения, определить текст или классифицировать стиль музыки. Наиболее распространенный подход в этих системах направлен на обнаружение границ с помощью оценки новизны, которая описана в [6, 7]. Методы, основанные на этой идее, ограничиваются композициями, которые следуют определенным правилам и принципам, так как требуют наличия предметной области. Авторами [6] предложено использование генетических алгоритмов для сегментации музыки. Предложенный ими метод не основан на его априорных знаниях, что позволяет применить алгоритм к более широкому музыкальному спектру. Музыка анализируется на основе ее самоподобия, а повторы используются для обнаружения сегментов. Затем алгоритм группирует схожие сегменты для создания групп сегментов (т.е. наборов нескольких непересекающихся сегментов, которые удовлетворяют заданному условию подобия). Как замечено в [8], автоматическое распознавание текстов песен по-прежнему является сложной задачей, поскольку вариаций певческого голоса намного больше, чем у говорящего, и отсутствует большая база данных с образцами пения. Авторами было решено использовать скрытую марковскую модель для распознавания слогов в записях с пением «а капелла». В исследовании [9] разрабатывают систему автоматического выравнивания текстовой лирики с музыкальным звуком. В ней для входного аудиосигнала сначала выполняется структурная сегментация, и аналогичным сегментам присваивается метка путем вычисления расстояния между парами сегментов.

Один из вариантов подхода к сегментации музыкальных произведений [10] заключается в анализе их структуры. При этом в первую очередь извлекается функция тембра из акустического сигнала и строится матрица самоподобия, с помощью которой определяется сходство между функциями в музыке. Следующим шагом определяются границы предполагаемых сегментов на основании данных об отклонениях в матрице. Подобные сегменты, такие как

повторы в музыкальном клипе, группируются и объединяются. Таким образом, каждое музыкальное произведение может быть представлено последовательностью состояний, где каждое состояние представляет музыкальный сегмент с похожей характеристикой.

Распознавание нот в вокальном исполнении

Предлагаемая методика распознавания спетых нот [11] заключается в использовании частот основного тона, идентифицированных для вокального исполнения с применением шаблонов, соответствующих модели слуховой системы человека.

Распознавание нот в вокальном исполнении включает в себя следующие шаги:

1) вычисление частот основного тона для сигнала в каждый момент времени;

2) сегментация и идентификация нот на основании полученного массива частот в каждый момент времени;

3) корректировка сегментированных нот с учетом минимальной длительности звучания.

Каждой ноте в теории музыки соответствует конкретное значение частоты основного тона. В связи с тем, что пение ноты на конкретном значении является невыполнимой задачей, было принято решение перейти от дискретных значений к интервалам частот. Нижние границы ноты и верхние границы ноты определялись по формулам (1) и (2) соответственно:

$$f_{i\,\text{н}} = f_{i-1} \cdot 2^{1/24}, \quad (1)$$

$$f_{i\,\text{в}} = f_i \cdot 2^{1/24}. \quad (2)$$

С учетом данных об интервалах звучания нот массив частот основного тона переводится в массив звучащих нот для каждого момента времени. Последовательности идентичных нот в данном массиве преобразуются в набор сегментов различной длительности, все частоты в которых относятся к вычисленным диапазонам звучания нот.

Разработанный программный комплекс [12] был сформирован с учетом алгоритмов анализа частоты основного тона [13]. Структура разработанного программного комплекса на уровне блоков представлена на рис. 1.

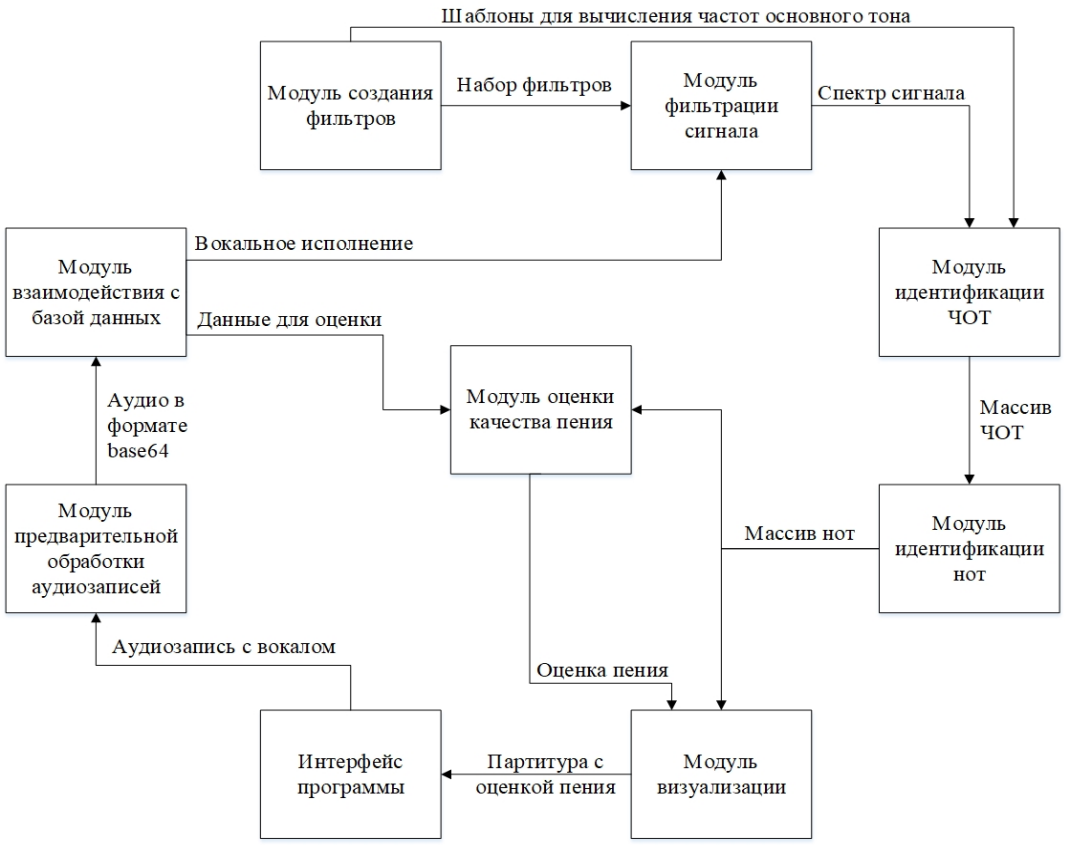


Рис. 1. Структура программного комплекса

Комплекс был протестирован на аудиозаписях с различными подходами к вокальному исполнению (такими, как стаккато, легато, арпеджио, крещендо, декрещендо, восходящее и нисходящее глиссандо, вибрато). Результаты эксперимента показали, что при анализе аудиозаписей:

– музыкальных инструментов, содержащих отдельную сыгранную ноту, алгоритм работает без ошибок до частоты 932,32 Гц, что соответствует ноте «си-бемоль второй октавы»;

– вокального исполнения, содержащих исполнения с применением стаккато, легато, арпеджио, крещендо и декрещендо, алгоритм распознал безошибочно более 95% нот;

– вокального исполнения, содержащего исполнение с применением таких техник, как глиссан-

до и вибрато, алгоритм правильно указывает диапазоны, в которых происходит изменение звучания ноты.

Заключение

Частота основного тона применяется во многих направлениях речевых технологий. Использование значений ЧОТ сигнала в вокальном исполнении показывает высокую результативность. Разработанный программный комплекс позволяет определить более 95% спетых нот в диапазоне от 70 до 800 Гц.

Литература

1. Rigaud François, Radenen Mathieu. Singing Voice Melody Transcription Using Deep Neural Networks. – 2016.

2. Masataka Goto, Yoichi Muraoka. Real-time beat tracking for drumless audio signals: Chord change detection for musical decisions. Speech Communication. – 1999. – Vol. 27, Iss. 3–4. – P. 311–335.

3. Балтийский И.А., Николенко С.И. Обзор графических вероятностных моделей гармонии для анализа музыкальных произведений // Труды СПИИРАН. – 2011. – № 2 (17). – 174 с.

4. Глазырин Н.Ю. О задаче распознавания аккордов в цифровых звукозаписях // Изв. Иркут. гос. ун-та. Сер.: Математика. – 2013. – Т. 6, № 2. – С. 2–17.

5. Masataka Goto. A real-time music-scene-description system: predominant-F0 estimation for detecting melody and bass lines in real-world audio signals // Speech Communication. – 2004. – Vol. 43, Iss. 4. – P. 311–329.

6. Brigitte R., Oertl S., Affenzeller M., Wagner S. Music Segmentation With Genetic Algorithms. Proceedings // International Workshop on Database and Expert Systems Applications, DEXA. – 2009. – P. 256–260. 10.1109/DEXA.2009.16.

7. Peiszer E. Automatic audio segmentation: Segment boundary and structure detection in popular music // Master's thesis, Vienna University of Technology. – Vienna, Austria, 2007.

8. Awata Shohei, Sako Shinj, Kitamura Tadashi. Vowel duration dependent hidden Markov model for automatic lyrics recognition // Journal of the Acoustical Society of America. – 2016. – Vol. 140. – P. 3427–3427.

9. Lee K., Cremer M. Segmentation-based lyrics-audio alignment using dynamic programming / in Proceedings of the 9th International Conference on Music Information Retrieval. – 2008. – P. 395–400.

10. Sanghoon J., Hwang E. Music segmentation and summarization based on self-similarity matrix // Proceedings of the 7th International Conference on Ubiquitous Information Management and Communication, ICUIMC–2013. – 2013. 10.1145/2448556.2448638.

11. Якимук А.Ю., Егошин Н.С., Осипов А.О., Боков И.М. Повышение качества идентификации нот в автоматизированной системе распознавания вокала // Электронные средства и системы управления: матер. докладов XII Междунар. науч.-практ. конф. – Томск: В-Спектр, 2016. – С. 29–32.

12. Якимук А.Ю. Этапы работы программного комплекса, определяющего ноты вокального исполнения // Информационные технологии в экономике и управлении: матер. III Всерос. науч.-практ. конф., г. Махачкала, 29–30 ноября 2018 г. / Дагестан. гос. техн. ун-т. – Махачкала, 2018. – С. 154–157.

13. Якимук А.Ю. Алгоритмы анализа частоты основного тона вокального исполнения // Научная сессия ТУСУР–2016: матер. междунар. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых, Томск, 25–27 мая 2016 г. – Томск: В-Спектр, 2016. – С. 245–248.

Якимук Алексей Юрьевич
Ст. преп. каф. КИБЭВС ТУСУРа
ORCID 0000-0001-9736-7658
Эл. почта: yay@keva.tusur.ru

УДК 681.511.2(075.8)

А.Е. Юртаева, А.С. Михайлёв

Система управления котлом поверхностного горения с диспетчеризацией на мобильном устройстве

Рассмотрена проблема системы управления котлом поверхностного горения с возможностью передачи данных через GSM-связь. Использование GPRS-модема, программное обеспечение которого содержит интерпретатор команд на языке Python, позволяет управлять мощностями котла и вентиляторов, дистанционно наблюдать параметры отопительного котла, отказаться от внедрения в систему основного процессора и как следствие уменьшить стоимость конечной системы. Однако возникает проблема реализации системы управления на языке Python, которая в рамках статьи решается предложенным алгоритмом системы управления.

Ключевые слова: система управления, встраиваемые системы, GSM-связь, мобильное приложение, диспетчеризация, пиролизный котел.

Котлы с нетрадиционным принципом горения на данный момент получают всё большее распространение, и их использование оправдано. Благодаря разделению котла на 2 камеры достигается максимально возможное дожигание пиролизных газов, и, как следствие, приносится самый малый вред экологии [1].

Использование таких котлов в совокупности с автоматическими системами управления и средствами диспетчеризации несёт в себе положительный экономический и социальный эффект. Снижается аварийность работы оборудования и количество жертв, которые возникают в результате аварий. Бла-

годаря применению современных интеллектуальных технологий управления достигается снижение расхода топлива и энергии. За счёт вышесказанного достигается быстрая окупаемость установленных средств автоматики [2].

Возможность использования модема в качестве диспетчерской системы управления позволяет обеспечивать контроль технологического процесса по всем интересующим параметрам котла, которые упоминаются в алгоритме его работы. В сфере обслуживания объектов с повышенной ответственностью, таких как котельные, своевременное определение параметров и их диспетчеризация зачастую является обязательным параметром при проектировании систем управления [3].

Самым распространенным направлением использования архитектуры связи на основе GSM–SMS, является сбор данных на местах.

В роли основного направления развития системы управления выступает либо увеличение функциональности системы, либо удешевление системы за счет развития алгоритмов управления. В данной статье предлагается решение таких проблем, как улучшение точности систем управления, минимизация человеческого взаимодействия и времени на ответ путем обеспечения дистанционного доступа к системе через GSM-связь. Сконструирована и предложена система для удаленной помощи через такие беспроводные сетевые сервисы, как SMS [4].

Актуальность внедрения архитектуры связи на основе GSM–SMS в системы управления и диспетчеризации поражает шириной спектра используемых направлений. Так, существует система сбора полевых данных, которая состоит из полевого мониторинга и платформ управления. А также нельзя не отметить разработку пакетного формата коротких сообщений, который сможет собирать такие полевые данные, как температура, влажность, численность насекомых и т.д. Все вышесказанное в очередной раз подчеркивает актуальность использования GPRS-модема, дистанционных систем управления и GSM-связи [5].

В работе предложена система управления котлом поверхностного горения с системой диспетчеризации. Для управления системами используется GPRS-модем фирмы Telit, программное обеспечение которого содержит интерпретатор команд на языке Python. Это позволяет не использовать основной процессор, а пользоваться только теми ресурсами, которые уже заложены в GPRS-модуле, но существует ряд проблем. Основная проблема заключается в языке программирования Python, он обладает малым быстродействием и не является «системой реального времени». Еще одна проблема использования GPRS-модуля заключается в отсутствии в интерпретаторе арифметики с плавающей точкой. Обозначенные проблемы решены введением алгоритмов управления скоростью вращения вентиляторами и выдаваемой котлом мощностью в микроконтроллер модема, добавлением разностных уравнений, настройкой параметров регулятора и учетом дискретных моделей на целых числах.

Для реализации системы управления котла с диспетчеризацией через мобильное приложение необходим микроконтроллер, встроенный в GPRS-модем, который через алгоритм импульсного управления будет обеспечивать подачу воздушных потоков в печь и выполнять функцию управления котлом.

Основная проблема заключается в языке программирования Python, который обладает малым быстродействием и не является «системой реального времени».

Для того чтобы избавиться от данных проблем, необходимо использовать разностные уравнения с регулируемым и управляемым временем дискретизации. Помимо этого, имеющегося быстродействия и дискретизации недостаточно для управления воздушными потоками, поэтому мы компенсируем это время использованием алгоритма. Следующая проблема, которую мы решаем, – это диспетчеризация некоторых параметров котла. С помощью открытого коммуникационного протокола Modbus в режиме передачи ASCII решается крайняя проблема, встречающаяся в статье.

Для управления поверхностным котлом используется два вентилятора и, соответственно, два воздушных потока, первый поток воздуха необходим для генерации пиролизных газов, он же будет определять выдаваемую мощность котлом, второй поток необходим для дожигания сгенерированного газа, он в свою очередь определяет то, насколько полноценно сгорают газы. Отношение между воздушными потоками первоначально принято в виде постоянной величины, в дальнейшем отношение желательно скорректировать так, чтобы осуществлялось наиболее полное догорание пиролизных газов. Вентиляторы, создающие воздушные потоки, не обладают существенной инерцией, поэтому управление ими осуществляется с использованием широтно-импульсной модуляции.

Критерием оптимальности автоматической системы управления является минимальный объем поступаемого воздуха в котел, который подбирается благодаря пропорциям воздушных потоков при заданной мощности котла.

Котлы поверхностного горения обычно представлены следующей структурной схемой (рис. 1).

Во избежание быстрого выгорания топлива либо перегрева необходимо обеспечить дутье и контролировать температуру «рубашки». Так как любой котел является инерционным объектом, а время инерции котла составляет порядка 15 мин, принимать решения относительно мощности котла достаточно 1 раз в 1 мин, однако быстродействие интерпретатора команд на языке Python позволяет принимать решения даже 1 раз в 10 с.

Одной из основополагающих проблем является стоимость продукта. Существуют контроллеры для управления котлами, стоимость которых ориентировочно начинается от 6000 руб., однако, воспользо-

вавшись GSM-модулем, предоставляется возможным решить несколько проблем сразу, это управление котлом, передача и архитектура связи на основе GSM.

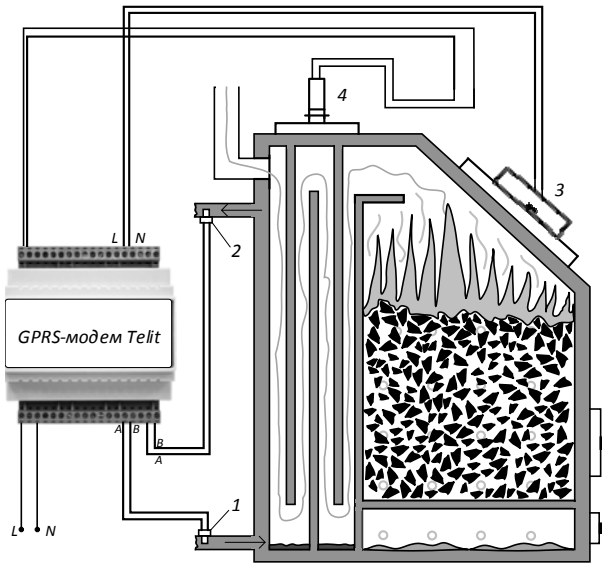


Рис. 1. Принципиальная схема экспериментальной установки: *1* – датчик температуры в обратном трубопроводе; *2* – датчик температуры в подающем трубопроводе; *3* – вентилятор вторичного воздуха; *4* – вентилятор первичного воздуха

В отличие от управления мощностью котла, дискретности принятия решений при управлении вентиляторами недостаточно в связи с тем, что управлять скоростью вращения вентиляторов необходимо 10 раз в 1 с. Однако этот алгоритм в интерпретаторе на языке Python гарантированно 10 раз в 1 с не выполняется.

Для решения данной проблемы предлагается условно разделить алгоритм на две части, часть управляет инерционной мощностью котла, которая не требует повышенной частоты дискретизации. Вторая часть управляет скоростью вращения вентиляторов котла, вторую часть необходимо выполнять как можно чаще.

Особый интерес представляет решение проблемы отсутствия в интерпретаторе арифметики с плавающей точкой. В связи с тем, что интерпретатор способен вычислять арифметические операции только целых чисел, это обязывает учесть остатки.

Встраиваемые системы управления котлом с возможностью мобильной связи – очень актуальная задача на сегодняшний день. Диспетчеризация некоторых параметров котла, таких как температура, давление и т.п., будет осуществлена с помощью открытого коммуникационного протокола Modbus в режиме передачи ASCII, в связи с тем, что в байтовом режиме протокол Modbus работает медленнее.

Для реализации второй части алгоритма, отвечающей за управление скоростью вращения вентиляторов, используется дифференциальное уравнение, представленное в виде разностных уравнений, где постоянная времени передается в качестве параметра для точной синхронизации по времени.

Для формирования функциональных блоков системы управления на примере интегрирующего звена запишем дифференциальное уравнение в виде конечных приращений времени:

$$\frac{y(t+\Delta t)-y(t)}{\Delta t}=\frac{x(t)}{\tau}, \qquad (1)$$

где t – реальное время, с; Δt – время дискретизации, которое в данной системе при реализации блока является переменной состояния, с; τ – время интегрирования.

Разностное уравнение можно получить из выражения (1), выделив из него следующее значение выхода:

$$y(t+\Delta t)=y(t)+x(t)[\Delta t/\tau]. \qquad (2)$$

Таким же образом следует получить разностные уравнения инерционного звена:

$$y(t+\Delta t)=y(t)+\big(kx(t)-y(t)\big)\frac{\Delta t}{\tau}, \qquad (3)$$

где k – коэффициент передачи инерционного звена.

Для реального дифференцирующего звена разностное уравнение примет вид

$$y(t+\Delta t)=y(t)-y(t)\frac{\Delta t}{\tau}+\frac{\tau_d}{\tau_f}\big(x(t)-x(t-\Delta t)\big), \qquad (4)$$

где τ_d, τ_f – время дифференцирования и время фильтра усреднения соответственно.

Все элементы должны быть реализованы так, чтобы время дискретизации разностного уравнения Δt являлось входным значением в качестве переменной состояния, поскольку моменты вычисления следующего значения не могут гарантированно выполняться через стабильные промежутки времени.

Для того чтобы обеспечить совместимость с интерпретатором Python, где отсутствует поддержка арифметики с плавающей точкой, мы должны все сделать в целых числах. Для этого каждую переменную состояния, кроме $y(t)$, $x(t)$, Δt, умножаем на максимальное значение отношения времени инерции к времени дискретизации. Например, для алгоритма импульсного управления вентиляторами следует умножать на $\frac{2\tau_{\text{ср}}}{\Delta t}=\frac{2\cdot 30}{0{,}1}=600$, а для алгоритма управления мощностью котла на $\frac{\tau_{\text{оу}}}{\Delta t}=\frac{300}{1}=300$. Данное математическое действие гарантирует исключение остатка при делении.

В импульсном управлении двигателем подачи воздуха, представленным на рис. 2, в условии нестабильного времени дискретизации следует учитывать искажения по ширине импульса в процессе работы. Для этой цели разработан блок управления формированием импульсов, где искаженное нестабильным временем дискретизации управление усредняется (U_4), поскольку контур управления температурой весьма инерционный. Значение цели ($U_{\text{вх}}$) сравнивается с усредненным ($U_{\text{ср}}$), невязка накапливается в интеграторе (U_1). Поскольку частота переключений

значительно превышает время усреднения, то при настройке замкнутого контура управления можно игнорировать элементы U_2 и U_3. В результате значение времени интегрирования блока U_1 можно вычислить согласно выражению оптимальной передаточной функции разомкнутой системы:

$$W_b(s)=\frac{1}{2\tau(1+\tau s)}, \qquad (5)$$

тогда время интегрирования блока $U_1=\tau_i=2\tau_{\text{ср}}$.

Как говорилось ранее, система управления мощностью котла представляет собой ПИД-регулятор. Алгоритм системы управления котлом представлен на рис. 3.

Вычислим параметры ПИД-регулятора согласно методу симметричного оптимума (СО).

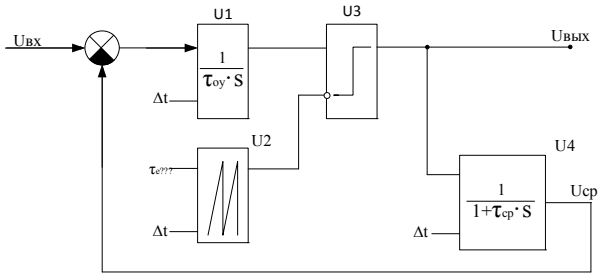


Рис. 2. Алгоритм импульсного управления вентиляторами

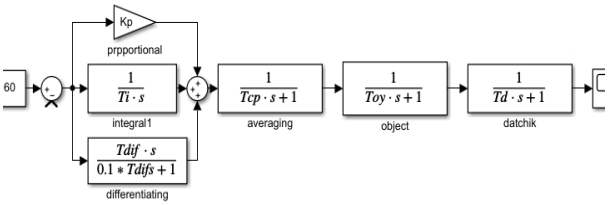


Рис. 3. Алгоритм управления котлом

Передаточная функция разомкнутой системы представлена в виде

$$W_{br}(s)=k_{\text{p}}\frac{(1+T_{r1}s)(1+T_{r2}s)}{s}\cdot\frac{k_{\text{ob}}}{(1+T_{\text{cp}}s)(1+T_{\text{oy}}s)(1+T_{\text{d}}s)}, \qquad (5)$$

где $k_{\text{p}}, k_{\text{ob}}$ – коэффициенты передачи регулятора и объекта; T_{r1}, T_{r2} – постоянные времени регулятора; T_{cp} – постоянная времени усреднения, $T_{\text{cp}}\approx 30$ с; T_{oy} – постоянная времени объекта управления, $T_{\text{oy}}\approx 300$ с. T_{d} – постоянная времени датчика, $T_{\text{d}}\approx 30$ с.

Для обеспечения оптимального управления приведем передаточную функцию разомкнутой системы к виду (5). Для этого нужно, чтобы $T_{r1}=T_{\text{d}}$, $T_{r2}=T_{\text{cp}}$, а значение $\frac{1}{k_{\text{oy}}k_{\text{p}}}=2T_{\text{oy}}$. Из выражения (5) следует: $T_i=1/k_{\text{p}}$, $T_{r1}T_{r2}s=T_{\text{d}}s$, $T_{\text{d}}=T_{r1}T_{r2}/T_i$, $k_{\text{p}}=\frac{T_{r1}+T_{r2}}{T_i}$.

Помимо полученных на мобильное устройство значений температуры «рубашки» и мощности дутья передается и их отношение. Если отношение вырастает больше, чем в 3 раза относительно начального соотношения, необходимо сообщить о скором погасании котла. Иными словами, измеренные параметры системы можно передавать на мобильное устройство в виде мнемосхемы, представленной на рис. 3.

Само устройство представлено на рис. 4.

В данной работе приведены достоинства котла поверхностного горения с системой диспетчеризации и предложена система управления на основе модема Telit. Такая система проста и имеет малую себестоимость, но интерпретатор команд на языке Python, который лежит в основе микроконтроллера, встроенного в модем, не обладал достаточным быстродействием.

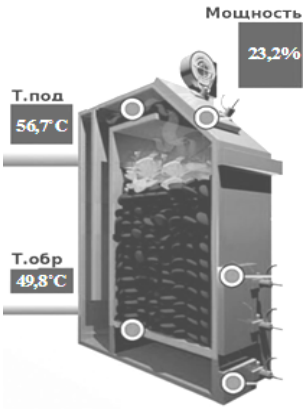


Рис. 3. Мнемосхема мобильного приложения

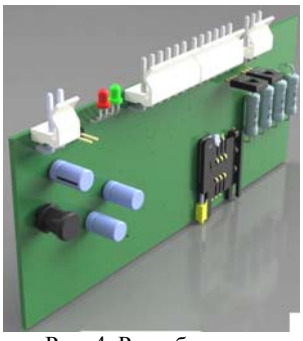


Рис. 4. Разработанное устройство

Решением возникшей проблемы стало применение специального алгоритма с использованием дифференциального уравнения, расписанного на разностное уравнение, где постоянная времени передается в качестве параметра для точной синхронизации по времени. Для разработанного алгоритма управления получена модель объекта и его переходный процесс, который служит критерием адекватности разработанного решения. Предложенное решение может быть полезно для дальнейших исследований и позволит существенно снизить себестоимость системы управления, а также повысить эффективность котла.

Литература

1. Михайлёв А.С. Метод подбора оптимального воздушного потока для пиролизного котла // Автоматизированный электропривод и промышленная электроника / под общ. ред. В.Ю. Островлянчика. – 2018. – С. 64–68.

2. Борисов Г.Б. Анализ современных систем автоматизации котельных // Теплоэнергетика. – 2010. – № 6. – С. 2–11.

3. Крещенов А. Автоматизация и диспетчеризация котельных // Сантехника, отопление, кондиционирование. – 2011. – № 1 (109). – С. 48–51.

4. Ashwin J.S. Embedded system based power plant monitoring and controlling / J.S. Ashwin, N. Manoharan //

Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science. – 2018. – Vol. 9. – P. 275–278.

5. Tseng C.L. Feasibility study on application of GSM–SMS technology to field data acquisition / C.L. Tseng, J.A. Jiang, R.G. Lee, F.M. Lu et al. // Article in Computers and Electronics in Agriculture. – 2006. – Vol. 53(1). – P. 45–59.

Юртаева Алина Евгеньевна
Студентка отд. электроэнергетики и электротехники,
Инженерная школа электроэнергетики НИ ТПУ
Эл. почта: alya.yurtaeva.98@mail.ru

Михайлев Алексей Сергеевич
Аспирант отд. электроэнергетики НИ ТПУ
Эл. почта: komrad.mihaileow2010@ya.ru

УДК 004.588

А.А. Климов, Е.С. Полынцев, И.Д. Шабалин, Е.С. Шандаров

Система управления приложениями для социального робота

Описана система управления приложениями для социального робота; описан формат установочного пакета робоприложения; представлена схема взаимодействия с репозиторием. Система является частью программного комплекса, разрабатываемого в лаборатории робототехники и искусственного интеллекта ТУСУР в рамках выполнения гранта «Развитие НТИ», проект № 44682.

Ключевые слова: социальный робот, робототехника, человек-машинное взаимодействие, образовательная робототехника.

Социальный робот – робот, главной задачей которого является взаимодействие с человеком [4]. Работа по проекту «Социальный робот для школы» ведется в рамках гранта по программе «Развитие-НТИ», проект № 44682 «Разработка программного комплекса поддержки нейросетевых алгоритмов интеллектуальной роботехнической системы обучения и развития ребенка», подразумевающего создание программного комплекса для социального робота, который будет помогать учителям начальных классов в ходе образовательного процесса [1, 2, 5, 6].

Термины и определения

Сценарий – план с подробным описанием действий, реакций робота, а также программа, которая обеспечивает работу робота согласно плану.

Веб-приложение – программное обеспечение для ноутбука, планшета или смартфона, функционирующее в среде браузера, поддерживающее связь со сценарием через канал беспроводной связи WiFi (WebAPP).

Робоприложение – связка сценария с соответствующим ему веб-приложением (RobotAPP).

Постановка задачи

За время работы над проектом «Социальный робот для школы» был разработан набор робоприложений, включающих в себя сценарии, веб-приложения, вспомогательные программы. Для обеспечения управления и навигации между робоприложениями необходима система управления приложениями с удобным, интуитивно понятным для потенциального пользователя интерфейсом, управлением контентом и роботом.

Структурная схема системы

Таким образом, определены следующие структурные компоненты системы:

– репозиторий приложений и контента;

– веб-сервер обеспечивающий доступ к репозиторию и СУБД;

– СУБД робоприложений и контента;

– робоприложение, упакованное в установочный пакет;

– ПО управления робоприложениями.

Разработання структурная схема представлена на рис. 1.

Формат пакета робоприложения

Каждое робоприложение упаковано в пакет для помещения в репозиторий. Формат пакета: архив с разрешением .tar.gz, в котором содержатся файлы веб-приложения, робо-приложения, иконки, исполняемые скрипты, структура файловой системы.

Пакет-установщик включает в себя:

• CGI-скрипты (python).

• Иконку (JPEG).

• Данные веб-приложений (картинки, элементы дизайна и т.д.).

• Веб-страницу (html, css).

• Скрипт ajax.js.

• Скрипт-установщик (bash).

• Текстовый документ с лицензией и информацией о версии, издатели и т.д.

• Сценарий робота (behavior.crg).

Репозиторий «Океан»

Репозиторий располагается в облаке и обеспечивает доступ к файлам робоприложений по сети Интернет. Все взаимодействие робота с репозиторием осуществляется с помощью ПО управления «Штурвал». Программа функционирует: интерфейс в среде веб-браузера, связанного с роботом ноутбука; исполняемые файлы – в ОС робота. Схема взаимодействия представлена на рис. 2.

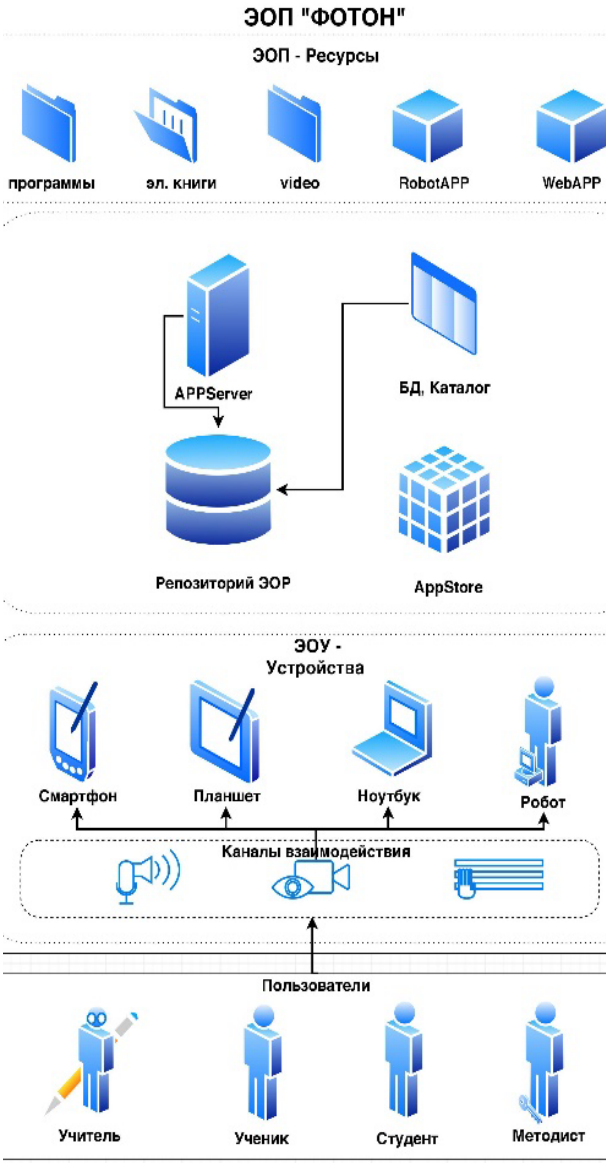


Рис. 1. Структурная схема системы

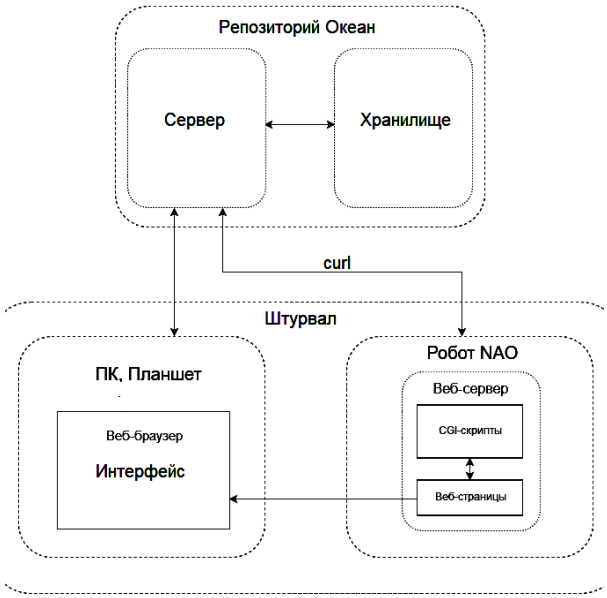


Рис. 2. Схема взаимодействия с репозиторием «Океан»

Программа управления робоприложениями «Штурвал»

Управление робоприложениями осуществляется с помощью ПО «Штурвал». Программа функционирует в интерфейсе в среде веб-браузера связанного с роботом ноутбука; исполняемые файлы находятся в ОС робота. Функциональность системы управления приложениями «Штурвал»:

• просмотр списка установленных на роботе приложений;

• запуск/остановка приложений;

• установка/удаление приложений на робота из внешнего источника, например, облачного репозитория приложений или внешнего накопителя.

Рассмотрим работу основных функций ПО «Штурвал».

Управление приложениями

Для создания и управления сценариями на роботе используется программа Choregraphe, которая представляет собой визуальную среду разработки. Однако она не удобна, если нам необходимо только управлять готовыми сценариями и робоприложениями, например запускать и останавливать их.

Было создано отдельное приложение (лаунчер), которое выполняет следующие функции:

• вывод списка установленных на роботе сценариев;

• запуск / остановка сценариев;

• мониторинг запущенных сценариев.

В ОС робота запущен процесс NAOqi, который обеспечивает работу всех функций робота с помощью модулей библиотеки NAOqi. Также на роботе имеется веб-сервер, что позволяет создать веб-приложение, которое будет функционировать прямо на роботе.

Backend веб-приложения представляет собой CGI-скрипты, написанные на языке python, которые с помощью библиотеки NAOqi могут получать список установленных сценариев, запущенных сценариев, а также запускать и останавливать сценарии.

Клиентская часть – это веб-страница, на ней отображается полный список загруженных на робота сценариев, а также текущие запущенные сценарии, которые можно остановить одной кнопкой.

При нажатии на иконку сценария происходит переход на веб-страницу, на которой находятся описание сценария и кнопки для запуска и остановки либо происходит переход на страницу робоприложения, если она имеется.

Структурная схема лаунчера представлена на рис. 3.

Удаление и установка приложений

Удаление приложений реализовано в виде CGI-скриптов на языке Python. При нажатии на кнопку «Удалить» в браузере запускается скрипт, который удаляет все связанные с удаляемым робоприложением файлы.

Установка робоприложений реализована с помощью скриптов на языке bash. Установка возможна из репозитория и с внешнего накопителя.

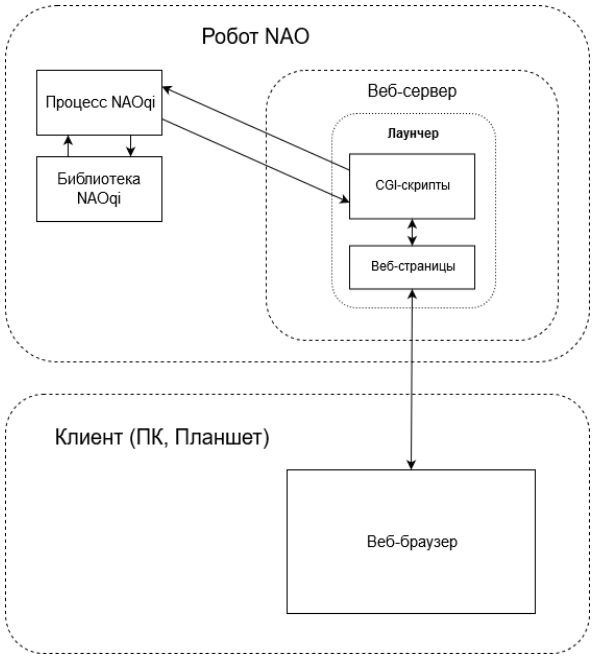


Рис. 3. Структурная схема лаунчера

Для установки из репозитория необходимо запустить скрипт-установщик с параметром – именем робоприложения, которое нужно установить. Скрипт автоматически начнет загрузку пакета робоприложения из репозитория с помощью URL. После загрузки пакет распаковывается, запускается скрипт-установщик. После установки все временные файлы удаляются.

Для установки с внешнего накопителя необходимо вставить USB-флеш-накопитель в робота, и запустить тот же скрипт-установщик, с указанием пути. Пакет робоприложения, лежащий на внешнем накопителе автоматически распакуется и установится.

Испытания

Испытания проводились в лаборатории робототехники и искусственного интеллекта ТУСУРа, а также в рамках мероприятий: RoboCup Russia Open 2019, выставка научных и технологических инноваций STIS, Шанхай, сентябрь 2019, открытие «Точки роста» в с. Кисловка, сентябрь 2019 (рис. 4). Система управления приложениями робота показала свою эффективность и надежность.


Рис. 4. Испытания в «Точке роста» в пос. Кисловка

Заключение

В результате выполненной работы была создана удобная и интуитивно понятная система для управления созданными робо-приложениями, а также веб-интерфейс этой системы, что позволяет использовать ее на большинстве привычных устройств где есть веб-браузер (ПК, смартфоны, планшеты). Логическим развитием системы является создание полноценного магазина приложений для социальных роботов. Созданная архитектура системы позволяет расширить диапазон дистрибуции приложений не только на роботов для школ, но и иных социальных сервисных роботов.

Литература

1. Zimina A., Rimer D., Sokolova E., Shandarova O., Shandarov E. The humanoid robot assistant for a preschool children // In International Conference on Interactive Collaborative Robotics. – 2016. – August. – Springer, Cham. – P. 219–224.

2. Зимина А.Н., Ример Д.И., Соколова Е.В., Шандаров Е.С., Шандарова О.Е. Антропоморфный робот-помощник воспитателя дошкольного учреждения // Матер. конф. «Электронные средства и системы управления»: в 2 ч. – Томск: В-Спектр, 2015. – Ч. 2. – Р. 108–113.

3. Павлова А.А., Тертишная О.В., Шандаров Е.С. Детская развивающая игра на платформе автономного робота NAO.

4. Zimina A., Zolotukhina P., Shandarov E. Robot-Assistant Behaviour Analysis for Robot-Child Interactions // International Conference on Interactive Collaborative Robotics. – Springer, Cham. – 2017, September. – P. 219–228.

5. Полынцев Е.С. Система интеграции социального робота и интерактивного web-приложения / Е.С. Полынцев, А.А. Климов, А.Е. Кодоров, И.Ю. Проказина // Сб. избранных статей научной сессии ТУСУРа по матер. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых «Научная сессия ТУСУР–2019». – 2019. – Ч. 4. – С. 299–301.

6. Разработка сценариев «Робот–ребенок» для социального робота / И.Ю. Проказина, О.В. Тертишная, А.А. Павлова и др. // Сб. избр. статей научной сессии ТУСУРа по матер. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых «Научная сессия ТУСУР–2019». – 2019. – Ч. 4. – С. 301–304.

Климов Артём Алексеевич
Студент каф. ЭП ТУСУРа
Эл. почта: ygt.art@gmail.com

Полынцев Егор Сергеевич
Студент каф. ЭП ТУСУРа
Эл. почта: e.polyntsev@gmail.com

Шабалин Илья Дмитриевич
Студент каф. ЭП ТУСУРа
Эл. почта: shabalin_ilya_omu@mail.ru

Шандаров Евгений Станиславович
Зав. лаб. робототехники и искусственного интеллекта, ст. преп. каф. ЭП ТУСУРа
Эл. почта: evgenyshandarov@gmail.com

УДК 004.81

И.Ю. Проказина, А.А. Согомонянц, А.А. Павлова, А.Е. Кодоров, Е.С. Шандаров

Архитектура комплекса ПО интеллектуальной робототехнической системы обучения и развития ребенка

Предложена архитектура комплекса ПО интеллектуальной робототехнической системы обучения и развития ребенка. Данная архитектура разрабатывалась в лаборатории робототехники и искусственного интеллекта ТУСУРа в рамках выполнения НИОКР по теме «Разработка программного комплекса поддержки нейросетевых алгоритмов интеллектуальной роботехнической системы обучения и развития ребенка» (заявка № НТИ-54174, проект №44682).

Ключевые слова: социальный робот, робоприложения, веб-приложения, образовательная платформа.

В настоящее время учителя младших классов сталкиваются с такими проблемами, как плохая концентрация внимания детей, низкая заинтересованность школьными дисциплинами и сложность восприятия нового материала [1]. В связи с этим группа лаборатории робототехники и искусственного интеллекта принимает участие в проекте НИОКР «Разработка программного комплекса поддержки нейросетевых алгоритмов интеллектуальной робототехнической системы обучения и развития ребенка» по программе «Развитие НТИ», который направлен на создание программного комплекса, с помощью которого может быть реализовано взаимодействие робот–ребёнок на основе разработанных сценариев. Разработка данных сценариев поможет создать робота-помощника для учителей начальной школы, который сможет оказывать помощь ребенку при изучении школьных предметов различных областей. Помимо задач, входящих в школьную программу, социальный робот NAO способен «играть» с детьми с целью развития их интереса во внеурочное время [2].

Основные определения и термины

Социальная робототехника (Social Robotics) – это новое направление в развитии науки и техники, основной целью которого является разработка робота, имитирующего социальные свойства и взаимоотношения человека.

Социальный робот – это тип роботов, созданный для обеспечения взаимодействия с людьми в общественных местах [3].

Робот NAO – автономный программируемый человекоподобный робот, который имеет 25 степеней свободы, с операционной системой на базе Linux, оснащённый видеокамерой, микрофоном, динамиками, тактильными датчиками, сетевыми коммуникациями: Ethernet, WiFi, поддержкой стека протоколов TCP/IP.

Сценарий – план действий с подробным их описанием, на основе которого создается приложение для робота (робоприложение).

Робоприложение – программное обеспечение для робота, представляющее собой файловую систему, загружаемую в ОС робота, с помощью которой реализуется выбранный сценарий для осуществления взаимодействия робот–ребёнок.

Веб-приложение – клиент-серверное приложение, с помощью которого поддерживается связь с робоприложением через канал беспроводной связи WiFi, функционирующее в среде веб-браузера.

Облако – совокупность ресурсов, доступ к которым осуществляется по каналам связи.

Интернет общего доступа, включает данные для работы робоприложений, мультимедийную и обучающую информацию.

Архитектура программного обеспечения (software architecture) согласно правилам программной инженерии описание подсистем и компонент программной системы, а также связей между ними, обеспечиваемых на вычислительном и коммуникационном уровне.

Проблема/задача

На сегодняшний день в учебном процессе в школах используются в качестве образовательных платформ компьютеры с интерактивными досками. Внедрение робота в учебный процесс сможет расширить возможности в образовательном процессе. Данный проект нацелен на решение следующих задач:

• Образовательных – использование робототехнических комплексов: в основной и внеурочной программах обучения, для знакомства с основами разработки и программирования робототехнических комплексов, для реализации последовательного обучения от младших до старших классов.

• Развивающих – обучение творческого, инженерного мышления, повышение внимательности, аккуратности, аналитического мышления, пространственного воображения, участие в конкурсах с участием робототехнических комплексов с целью мотивации обучения.

• Воспитательных – повышение мотивации к получению знаний, стремлению получать фактический результат, умение проектного мышления и работы в команде.

Перед нами были поставлена задачи разработки архитектуры программного обеспечения для робота, реализующего взаимодействие робот–ребенок, функции интеллектуальной обучающей платформы (ИОП), обеспечивающей взаимодействие комплекса программ робота с облачными системами хранения и тесно интегрированной с веб-приложением.

Концепция электронной образовательной платформы «Фотон»

Нами предложена концепция новой электронной образовательной платформы (ЭОП) «Фотон». Введем следующие понятия:

• Электронная образовательная платформа «Фотон» – это универсальная образовательная платформа для воспитанников детских садов, учащихся школ, лицеев, гимназий, их преподавателей, репетиторов и воспитателей. Платформа включает в себя интерактивные приложения по различным тематикам, выполняемые на электронных образовательных устройствах (ЭОУ).

• Электронный образовательный ресурс (ЭОР) – учебные материалы, для воспроизведения которых используются электронные устройства. Например, презентация в формате PDF, интерактивное веб-приложение, интерактивное робоприложение. ЭОР включают в себя помимо традиционных текста, видео и электронных книг, приложения для социального робота RobotAPP и связанные с ними интерактивные веб-приложения WebAPP.

• Электронные образовательные устройства (ЭОУ) – электронные цифровые устройства, способные воспроизводить ЭОР. Пример: ноутбук, планшет, смартфон, человекоподобный робот.

ЭОР «Фотон» обладают следующими принципиальными отличиями от конкурентов:

• робоприложения включают в себя анимацию робота, взаимодействие ребенок–,робот;

• наличие интерактива с использованием голосового ввода/вывода;

• наличие интерактива с использованием устройств видеоввода;

• наличие альтернативных способов взаимодействия с контентом, ЭОР и приложениями (нейроинтерфейс, отслеживание взгляда, распознавание образов);

• использование в качестве ЭОУ человекоподобного робота что увеличивает вовлеченность учащегося в процесс;

• контент для ЭОР находится в облаке что улучшает дистрибуцию продуктов.

Архитектура ЭОП «Фотон»

Таким образом, нами была разработана архитектура ЭОП «Фотон», структурная схема которой представлена на рис. 1.

Как видно из структурной схемы, ЭОР «Фотон» обладают следующими принципиальными отличиями от конкурентов:

• робоприложения включают в себя анимацию робота, взаимодействие ребенок–робот.

• Наличие интерактива с использованием голосового ввода/вывода.

• Наличие интерактива с использованием устройств видеоввода.

• Наличие альтернативных способов взаимодействия с контентом, ЭОР и приложениями (нейроинтерфейс, отслеживание взгляда, распознавание образов).



Рис. 1. Структурная схема ЭОП «Фотон»

• Использование в качестве ЭОУ человекоподобного робота что увеличивает вовлеченность учащегося в процесс.

• Контент для ЭОР находится в облаке что улучшает дистрибуцию продуктов.

Рассмотрим представленные на схеме уровни ЭОП «Фотон»:

• Электронные образовательные ресурсы – контент и приложения ЭОП: программы, электронные книги, видео, RobotApp, WebAPP.

• Облачное хранилище ЭОР – предназначено для хранения, каталогизации и обеспечения доступа к ЭОР из любой точки планеты по каналам сети Интернет. Включает в себя репозиторий ЭОР, БД для каталогизации и поиска и веб-сервер, обеспечивающий доступ к ЭОР.

• Электронные образовательные устройства – предназначены для отображения и воспроизведения ЭОР. В случае ЭОП «Фотон» ЭОУ включают в себя помимо смартфонов, планшетов, ноутбуков и ПК, человекоподобных социальных роботов.

• Каналы взаимодействия с ЭОР – обеспечение получения и отправки информации, управление воспроизведением: голосовой, визуальный и через клавиатуру и мышь.

• Пользователи (учитель, ученики, студент, методист) взаимодействуют с электронно-образовательными устройствами, используя три канала: голосовой, визуальный и через клавиатуру.

ЭОР робоприложение (RobotAPP)

Рассмотрим подробнее один из имеющихся ЭОР в системе – робоприложение. В нашем случае робоприложение – это ПО, функционирующее в ОС робота и обеспечивающее взаимодействие робот–ребенок. Такие приложения мы разрабатывали используя ПО Choreographe, где в визуальной среде программирования возможно спроектировать и запрограммировать сценарий человеко-машинного взаимодействия и управлять всеми компонентами робота [5]. Типичный сценарий предусматривает обмен информацией и командами, используя голосовой интерфейс (робот оснащен библиотекой NAOqi, включающей в себя функции голосового анализа/синтеза, в том числе на русском языке). Также во многих сценариях задействовано распознавание изображений, помещаемых в зону действия видеокамеры робота. Это расширяет набор каналов управления и передачи информации.

Как правило, созданные робоприложения имеют тесную интеграцию с веб-приложением, которое выполняется на связанном с роботом компьютере. Веб-приложение позволяет расширить набор каналов взаимодействия с роботом, дополнив их текстовым и сенсорным вводом. Также веб-приложение позволяет демонстрировать текст и изображения, передаваемые с робота. Механизм интеграции робоприложения и веб-приложения описан в работе [4].

Испытания робоприложений

С целью выяснения и оценки качества проделанной работы были проведены тестирования разработанной архитектуры ЭОП «Фотон» в реальных условиях:

• В рамках выставки на мероприятии RoboCup Russia Open 2019.

• В рамках учебного процесса среди учащихся 1–4-х классов.

• Врамках китайской промышленной ярмарки China International Industry Fair в г. Шанхай.



Рис. 2. Испытания в школе в пос. Кисловка

На испытаниях в полевых условиях разработанная архитектура ЭОП «Фотон» показала себя эффективно. Использование разработанной архитектуры ЭОП, а также использование социального робота, в качестве электронно- образовательной платформы произвело впечатление у детей 1–4-х классов и сделало урок занимательным. Увеличение каналов взаимодействия с ЭОУ позволилоа разнообразить робоприложения и сделать их интересными для взаимодействия с ребенком.

Выводы

Нами была разработана архитектура программного обеспечения для робота, реализующих взаимодействие робот–ребенок, функции интеллектуальной обучающей платформы (ИОП), обеспечивающая взаимодействие комплекса программ робота с облачными системами хранения и тесно интегрированная с веб-приложением. Разработанная архитектура для электроно образовательных устройств может найти широкое применение в среднеобразовательных учреждениях.

Литература

1. Zimina A., Rimer D., Sokolova E., Shandarova O., Shandarov E. The humanoid robot assistant for a preschool children // International Conference on Interactive Collaborative Robotics. – 2016. – August. – Springer, Cham. – P. 219–224.

2. Зимина А.Н., Ример Д.И., Соколова Е.В., Шандаров Е.С., Шандарова О.Е. Антропоморфный робот-помощник воспитателя дошкольного учреждения // Электронные средства и системы управления: матер. конф.: Томск: В-Спектр, 2015. – Ч. 2. – С. 108–113.

3. Павлова А.А., Тертишная О.В., Шандаров Е.С. Детская развивающая игра на платформе автономного робота NAO.

4. Система интеграции социального робота и интерактивного web-приложения / Е.С. Полынцев, А.А. Климов, А.Е. Кодоров, И.Ю. Проказина // Сб. избр. статей научной сессии ТУСУРа по матер. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых «Научная сессия ТУСУР–2019». – 2019. – Ч. 4. – С. 299–301.

5. Разработка сценариев «Робот–ребенок» для социального робота / И.Ю. Проказина, О.В. Тертишная, А.А. Павлова, И.Д. Шабалин, Е.С. Полынцев // Сб. избр. статей научной сессии ТУСУРа по матер. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых «Научная сессия ТУСУР–2019». – 2019. – Ч. 4. – С. 301–304.

Проказина Ирина Юрьевна
Студентка каф. ТЭ ТУСУРа
Эл. почта: irina_tusur@mail.ru

Согомонянц Алина Александровна
Студентка каф. ЭП ТУСУРа
Эл. почта: blitz@danet.in

Павлова Александра Анатольевна
Студентка каф. ТЭ ТУСУРа
Эл. почта: alexia.1999@mail.ru

Кодоров Антон Евгеньевич
Студент каф. ТЭ ТУСУРа
Эл. почта: tosha0147

Шандаров Евгений Станиславович
Зав. лаб. робототехники и искусственного интеллекта,
ст. преп. каф. ЭП ТУСУРа
Эл. почта: evgenyshandarov@gmail.com

Секция 14

ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

*Председатель секции – **Шелупанов Александр Александрович,** президент ТУСУРа, д-р техн. наук, профессор*

УДК 004.8

Е.П. Белова, И.В. Машкина

Нейросетевая база биометрических признаков пользователей для систем аутентификации и авторизации

Данное исследование посвящено возможности использования характеристик четвёртой форманты гласного звука в качестве биометрического признака пользователя. В работе разрабатывается нейросетевая база биометрических признаков пользователей для систем аутентификации и авторизации. Для анализа эффективности метода проведены эксперименты по выявлению ошибок 1-го и 2-го рода. Исследования проводились с участием 2 групп пользователей.

Ключевые слова: биометрический признак пользователя, нейросетевая база биометрических признаков пользователей, биометрический параметр, характеристики четвёртой форманты гласного звука, частота четвёртой форманты гласного звука, аутентификация по голосу.

На сегодняшний день обеспечение защиты конфиденциальных данных от угроз несанкционированного доступа является приоритетной задачей в области информационной безопасности. Системы идентификации и аутентификации используются для пропуска авторизованных пользователей и отказа в нём нелегитимным пользователям. Помимо систем идентификации и аутентификации, используется система авторизации. Она отвечает за то, чтобы легитимные пользователи могли реализовать лишь те полномочия, которые им разрешены и не получили доступ к полномочиям других легитимных пользователей. И система аутентификации, и система авторизации требуют строгих средств контроля. Приоритетное направление в этой области представляют собой биометрические технологии. Ведь в основе их лежат биометрические параметры, которые нельзя потерять, передать знакомому или украсть. Биометрические параметры практически всегда с человеком. Однако они могут быть временно утрачены вследствие болезни или травмы.

Объём мирового рынка биометрических систем постоянно растёт. Например, на конец 2016 г., по данным международной консалтинговой компании J`son&Partners, он оценивался в сумму 14 млрд долл. При этом, по прогнозам специалистов, на ближайшие 6 лет показатель темпа роста рынка биометрических технологий в среднем составит 18,6%, объём рынка же к 2022 г. достигнет величины в 40 млрд долл. [1].

В работах [2, 3] отмечается, что одним из перспективных биометрических методов является аутентификация по голосу. Она не требует дополнительного оборудования, понятна пользователям и не вызывает физического или психологического дискомфорта. Кроме того, данный вид аутентификации обладает достаточно высокой эффективностью. В настоящее время широкое распространение получили частота основного тона, частота формант, кепстральные коэффициенты и разности по времени от кепстральных коэффициентов.

В работе [4] авторов данной статьи в качестве биометрического параметра используется частота четвёртой форманты гласного звука, в результате исследований делается вывод о целесообразности её использования в качестве уникальной характеристики личности. В [3] отмечено, что именно она характеризует речевой тракт человека.

Для анализа речи человека применяются различные методы [3, 5]: метод гауссовых смесей, метод опорных векторов, скрытые Марковские модели, искусственные нейронные сети. Так как роль методов на основе искусственного интеллекта растёт, данное исследование базируется на использовании искусственной нейронной сети. Главные достоинства искусственных нейронных сетей, которые вызывают интерес к использованию, – это возможность аппроксимации любых нелинейных зависимостей, отсутствие жёстких ограничений на размерности входных и выходных векторов и способность к обучению на реальных данных [6].

В данном исследовании разрабатывается нейросетевая база биометрических признаков пользователей для систем аутентификации и авторизации. Проводится тестирование её работы на двух группах.

Построение искусственной нейронной сети – базы биометрических признаков пользователей

Данное исследование посвящено изучению вопросов использования в качестве биометрических признаков пользователей характеристик четвёртой форманты гласного звука речи для систем аутентификации и авторизации по голосу, рассматривается возможность использования искусственной нейронной сети в качестве базы биометрических признаков пользователей и анализируется эффективность её работы.

Под формантой понимается концентрация энергии в ограниченной частотной области [7]. Другое её определение гласит так: «Форманта – это область повышенной концентрации энергии» [8].

Тем самым четвёртая форманта гласного звука – это четвёртый по счёту всплеск энергии в ограниченной частотной области на спектрограмме гласного звука.

В данном исследовании в качестве биометрического признака пользователя используются следующие характеристики четвёртой форманты гласного звука речи: частота четвёртой форманты гласного звука $f_{4\max}$ (т.е. частота, соответствующая максимальному значению амплитуды выброса энергии в четвёртой частотной области) и частоты, определяющие начало и конец четвёртой ограниченной частотной области – f_{4s} и f_{4f}.

В ходе экспериментальных исследований в качестве испытуемых привлечено две группы пользователей, в каждую из которых входит по четыре человека: три женщины и один мужчина. Использовались четвёртые форманты трёх гласных фонем: «А», «О» и «Э», так как именно звуки этих фонем имеют спектрограммы с чётко выраженными областями повышенной концентрации энергии.

Разработаны два программных модуля, на которые подана заявка в Федеральную службу по интеллектуальной собственности. Первый программный модуль предназначен для получения спектрограммы гласного звука, произнесённого пользователем для выбранных в эксперименте фонем. Второй модуль реализует алгоритм выделения характеристики четвёртой форманты гласного звука на соответствующей спектрограмме.

Архитектура искусственной нейронной сети в данной работе представлена трёхслойным персептроном прямого распространения. Он включает в себя входной и выходной слои, а также скрытый внутренний слой, количество нейронов в котором определяется по формуле [6]

$$N = \left[\frac{Q * n}{m + n} \right],$$

где N – количество нейронов в скрытом слое, m – количество входов, n – количество выходов, Q – объём обучающей выборки, [ ] – операция округления до целого числа. Архитектура искусственной нейронной сети представлена на рис. 1.

Входной нейрон 1 – номер с 1-го по 4-й, соответствующий идентификатору пользователя; входной нейрон 2 – номер звука, принимающий значение от 1 до 3 (1 соответствует звуку «А» 2 – «О», 3 – «Э»); входные нейроны 3–5 – значения характеристик четвёртой форманты гласного звука «А»; входные нейроны 6–8 – значения характеристик четвёртой форманты гласного звука «О»; входные нейроны 9–11 – значения характеристик четвёртой форманты гласного звука «Э». Выходные нейроны П1, П2, П3 и П4 – данные о пользователях с первого по четвёртый.

Для создания и обучения искусственной нейронной сети, а также проведения экспериментов, направленных на оценку её эффективности, используется программный комплекс Matlab R2015b.

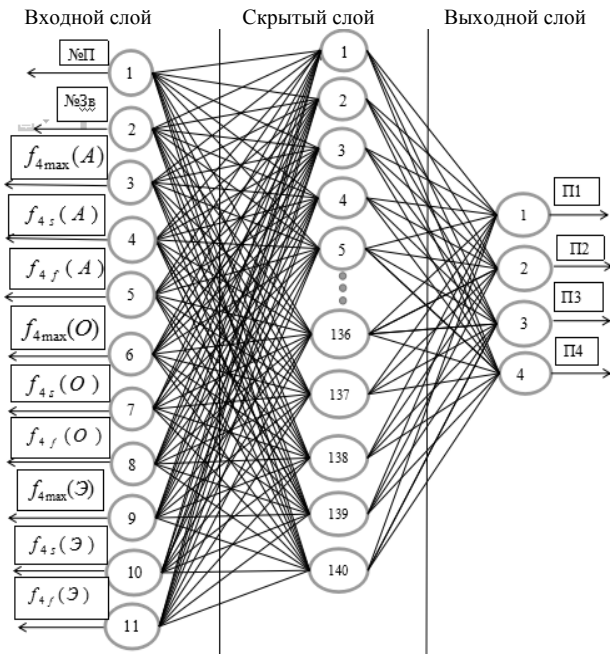


Рис. 1. Архитектура искусственной нейронной сети

Обучающая выборка для каждой из двух групп пользователей представлена 480 строками (обучающими примерами). Обучающая выборка для каждой из двух групп пользователей представлена 480 строками (обучающими примерами). Фрагмент её входных данных представлен в табл. 1. Она состоит из четырёх наборов (по одному набору на одного человека). Каждый из них представлен двумя частями: для обучения искусственной нейронной сети обучению на распознавание легального пользователя, предоставившего свой идентификатор (примеры 1–30), и для её обучения распознаванию несанкционированных действий других пользователей при их попытках аутентифицироваться под идентификатором данного пользователя (примеры 31–60).

Для анализа эффективности функционирования нейросетевой базы биометрических признаков пользователей было проведено её тестирование на двух группах: произвольно сформированной и специально сформированной из пользователей, спектрограммы которых дают схожие характеристики.

Таблица 1

Фрагмент входных данных обучающей выборки

Номер обучающего примера	Входы искусственной нейронной сети				
	№ П	№ Зв	Значения характеристик четвёртой форманты гласного звука		
			$f_{4\max}(A)$	$f_{4s}(A)$	$f_{4f}(A)$
1	1	1	815	710	908
2	1	1	849	779	926
...	...	...	...	...	...
10	1	1	835	733	920
11	1	2	0	0	0
...	...	...	...	...	...
20	1	2	0	0	0
21	1	3	0	0	0
...	...	...	...	...	...
30	1	3	0	0	0
31	1	1	774	636	831
...	...	...	...	...	...
41	1	2	0	0	0
...	...	...	...	...	...
50	1	2	0	0	0
51	1	3	0	0	0
...	...	...	...	...	...
60	1	3	0	0	0

При прохождении аутентификации пользователями из первой группы ошибка 1-го рода составила в среднем 4,4%, т.е. легальный пользователь в 95,6% случаев был аутентифицирован (табл. 2).

Ошибка 2-го рода составила в среднем 2,2% (табл. 3).

Таблица 2

Процентное значение пропуска легального пользователя

Звук / № пользователя	1	2	3	4	Итого
А	100%	80%	100%	100%	95,0%
О	86,7%	100%	100%	100%	96,7%
Э	80%	100%	100%	100%	95,0%
Итого	88,9%	93,3%	100%	100%	95,6%

Таблица 3

Результаты вычисления ошибки 2-го рода

Звук / № пользователя	1	2	3	4	Итого
А	6,7%	0,0%	0,0%	0,0%	1,7%
О	6,7%	6,7%	0,0%	3,3%	4,2%
Э	3,3%	0,0%	0,0%	0,0%	0,8%
Итого	5,6%	2,2%	0,0%	1,1%	2,2%

Сравнение полученных результатов с результатами, представленными по другим речевым параметрам в [3, 5], показывает высокую эффективность механизма аутентификации и авторизации, основывающего на характеристиках четвёртой форманты гласного звука.

Однако схожесть спектрограмм существенно понижает эффективность любого механизма аутентификации. Поэтому для проведения 2-го эксперимента была специально отобрана вторая группа – пользователей со схожими спектрограммами.

Для пользователей из группы с похожими голосами ошибка 1-го рода представлена в среднем 17,5% (табл. 4).

Ошибка 2-го рода составила в среднем 20,8% (табл. 5).

Таблица 4

Процентное значение пропуска легального пользователя

Звук / № пользователя	1	2	3	4	Итого
А	100,%	90%	100%	50%	85,0%
О	100%	100%	100%	80%	95,7%
Э	50%	90%	50%	80%	67,5%
Итого	83,3%	93,3%	83,3%	70,0%	82,5%

Таблица 5

Результаты вычисления ошибки 2-го рода

Звук / № пользователя	1	2	3	4	Итого
А	30,0%	23,3%	33,3%	10,0%	24,2%
О	33,3%	26,7%	23,3%	3,3%	21,7%
Э	26,7%	6,7%	3,3%	30,0%	16,7%
Итого	30,0%	18,9%	20,0%	14,4%	20,8%

По сравнению с результатами, полученными в эксперименте с первой группой, результаты второй группы показывают меньшую эффективность метода. Однако полученные в ходе второго эксперимента значения ошибок не превышают величины, приведённые в [5] для ошибок 1-го и 2-го рода, полученных при выборе других параметров речи в качестве биометрического признака личности.

Заключение

Разработанная в данном исследовании нейросетевая база биометрических признаков пользователей для систем аутентификации и авторизации показала приемлемые результаты по сравнению с данными, представленными в известных источниках [3, 5]. Величины ошибок 1-го и 2-го рода, полученные в результате экспериментов с двумя группами пользователей, свидетельствуют о результативности идеи и дают основание на проведение дальнейших исследований в данном направлении. Планируется проведение исследований с целью уменьшения ошибок 1-го и 2-го рода для пользователей со схожими спектрограммами, а также увеличение числа пользователей.

Литература

1. Мировой рынок биометрических систем 2015–2022 гг. Обзор рынка, январь 2017 г. – Режим доступа: http://json.tv/ict_telecom_analytics_view/mirovoy-rynok-biometricheskih-sistem-2015-2022-gg-20170119025618, свободный.

2. Матвеев Ю.Н. Исследование информативности признаков речи для систем автоматической идентификации дикторов // Изв. вузов. Приборостроение. – 2013. – Т. 56, №2. – С. 47–51.

3. Сорокин В.Н. Распознавание личности по голосу: аналитический обзор / В.Н. Сорокин, В.В. Вьюгин, А.А. Тананыкин // Информационные процессы. – Т. 12, № 1. – С. 1–30.

4. Belova Ye.P., Mashkina I.V. Research Results of Artificial Neural Network for User Authentication According to Frequency of Fourth Formant of Vowel Sound Phoneme // Сб. Науч. трудов «2018 International Russian Automatisation Conference (RusAutoCon)» / IEEE. DOI: 10.1109/RUSAUTOCON.2018.8501680, 2018 г. – URL: https://ieeexplore.ieee.org/document/8501680 (дата обращения: 20.11.2018).

5. Кулибаба О.В., Привалов М.В. Выбор признаков для аутентификации по голосу в компьютеризированной системе контроля доступа // Інформаційні управляючі системи та комп'ютерний моніторинг (ІУС та КМ–2010)/ Матеріали І всеукраїнської науково-технічної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених. – 19–21 травня 2010 р. – Донецьк, ДонНТУ, 2010. – С. 33–37.

6. Васильев В.И., Ильясов Б.Г. Интеллектуальные системы управления. Теория и практика: учеб. пособие. – М.: Радиотехника, 2009. – 388 с.

7. Рабинер Л.Р., Шафер Р.В. Цифровая обработка речевых сигналов. – М.: Радио и связь, 1981. – 496 с.

8. Сидоренко И.А., Кускова П.А. О спектральном анализе фонем с использованием звуковых редакторов // Научные ведомости БелГУ. Сер.: История. Политология. Экономика. Информатика. – 2013. – № 22 (165) – С. 246–250.

Белова Елена Петровна
Аспирант каф. вычислительной техники
и защиты информации (ВТиЗИ),
Уфимского гос. авиационного техн. ун-та (УГАТУ)
ORCID ID 0000-0001-5488-943X
Эл. почта: super.yelenar@yandex.ru

Машкина Ирина Владимировна
Д-р техн. наук, профессор каф. ВТиЗИ, УГАТУ
ORCID ID 0000-0002-3096-3102
Эл. почта: mashkina.vtzi@gmail.com

УДК 004.046

А.Н. Поликанин, Н.В. Игнатенко

Исследование возможности применения квадрокоптеров в целях акустической и оптической разведки

Основной проблемой при проведении оптической и акустической разведки является расстояние. Особенно это актуально для акустики, поскольку интенсивность звуковой волны падает пропорционально квадрату увеличения расстояния до цели разведки. Использование квадрокоптеров для доступа к оптической и акустической информации позволяет приблизиться к объекту разведки практически вплотную, где бы он не находился – на открытой местности или в помещении на высоком этаже.

Ключевые слова: квадрокоптеры, оптическая разведка, акустическая разведка, направленный микрофон, разрешающая способность, разборчивость речи.

Проблема ведения разведки – одно из направлений, в котором квадрокоптер может оказать неоценимую помощь. Она состоит в том, что бывает трудно подобраться вплотную к объекту из-за наличия контролируемых зон (охранная сигнализация, видеонаблюдение и пр.). Идея состоит в том, чтобы обойти контролируемые зоны с помощью квадрокоптера, который позволит приблизиться к местам хранения, обработки и передачи информации, предполагая, что съем информации будет несанкционированный.

Нашей задачей была теоретическая и практическая проверка возможности использования современных средств разведки с базированием их на квадрокоптерах оптимальных конфигураций.

Акустический канал получения информации

Главной трудностью в получении акустической информации с помощью квадрокоптера является его собственный шум (рис. 1). Шум винтов, достигающий по шкале громкости 75 дБ для квадрокоптера под нагрузкой, представляет значительную помеху даже на небольших дистанциях от объекта разведки.

Оценим влияние шумового фактора с использованием расчета разборчивости речи по методике Покровского при условии применения обычного точечного микрофона.

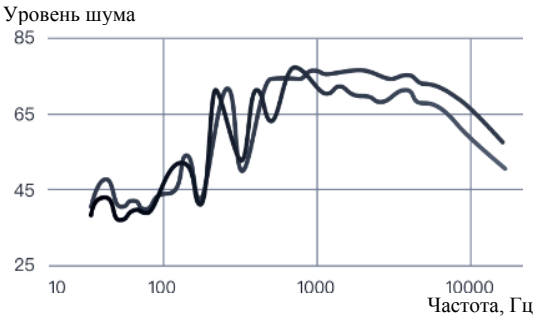


Рис. 1. График уровня шума квадрокоптера при проведении двух экспериментов

Расчет проведем для спектра пяти октавных полос: 250, 500, 1000, 2000 и 4000 Гц, где сосредоточено до 90% всей речевой информации, издаваемой голосовым аппаратом человека. Индекс словесной разборчивости определяется по следующей формуле:

$$W = 1{,}54R_{0{,}25}[1 - \mathrm{EXP}(-11R)], \text{ если } R < 0{,}15;$$

$$W = 1 - \mathrm{EXP}[-11R / (1 + 0{,}7R)], \text{ если } R \geq 0{,}15,$$

где R – интегральный индекс артикуляции и вычисляется по формуле $R = \sum_{i=1}^{5} r_i$, где r_i – октавный индекс артикуляции; r_i вычисляется по формуле

$$r_i = k_i \left| z - \frac{0{,}78 + 5{,}46\exp(-4{,}3\times10^{-3}(27{,}3-|E_i - A_i|)^2}{1+10^{0{,}1|E_i - A_i|}} \right|,$$

где $z = 0$, если $E_i \square A_i$; $z = 1$, если $E_i > A_i$; k_i – весовой коэффициент полосы. E_i вычисляется по формуле

$$E_i = L_{C\,i} - L_{Ш\,i},$$

где E_i – октавное отношение сигнал/шум; $L_{C\,i}$ – уровень сигнала; $L_{Ш\,i}$ – уровень шума.

Значение параметров A_i и k_i

Среднегеометрическая частота октавной полосы, Гц	Весовой коэффициент полосы k_i	Значение параметра A_i
250	0,03	18
500	0,12	14
1000	0,20	9
2000	0,30	6
4000	0,26	5

В таблице A_i – октавное отношение «акустический сигнал/шум», дБ, в месте возможного размещения приёмников звука.

Величину полезного акустического сигнала можно взять 60 дБ, что будет примерно соответствовать громкости обычной человеческой речи на расстоянии около 10 м. Расчет показывает значение индекса словесной разборчивости примерно 40%, что является приемлемым значением, но не вполне достаточным для качественной разведки (рис. 2).



Рис. 2. Оценка словесной разборчивости

Для повышения уровня полезного сигнала необходимо применение направленных микрофонов, которые подавляют боковые ближние шумы и усиливают сигнал, идущий с осевого направления. Коэффициент направленного действия направленного микрофона трубчатого типа можно посчитать по формуле:

$$G = 4L / \lambda,$$

где λ – длина волны звука, L – длина трубки направленного микрофона.

Он покажет степень увеличения уровня сигнала на выходе микрофона при замене ненаправленного микрофона направленным.

Например, при использовании легкого автономного направленного микрофона «Юкон» (рис. 3) массой 130 г совместно с квадрокоптером мы получим коэффициент направленного действия на частоте 2000 Гц, равный 3,56, что позволит усилить полезный сигнал и подавить шумовой, доведя уровень показателя разборчивости речи до отличных значений.



Рис. 3. Направленный микрофон «Юкон»

Оптический канал получения информации

Портативные камеры видеонаблюдения активно применяются на квадрокоптерах. Однако почти все они рассчитаны на съемку общих планов, больших объектов и протяженных пространств. Это подразумевает очень широкий угол обзора и соответственно небольшое фокусное расстояние.

Для целей оптической разведки необходима камера на квадрокоптере, способная обеспечить распознавание текста экрана монитора, видимого из окна, или бумажного документа, находящегося в помещении. Учитывая дистанции (не более 15–20 м), камера должна иметь нормальное или узкое поле зрения и сравнительно большое фокусное расстояние.

Условием распознавания символа, буквы или цифры является отображение её минимум четырьмя элементами матрицы камеры по горизонтали и вертикали (рис. 4).

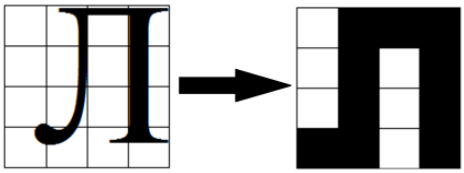


Рис. 4. Распознавание символа

Рассмотрим эквивалентную оптическую схему камеры на рис. 5.

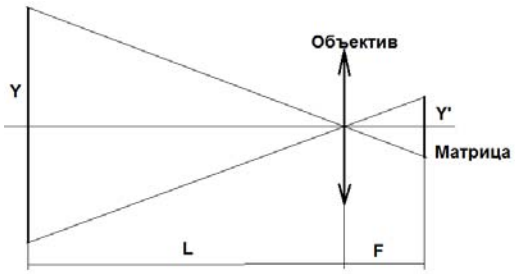


Рис. 5. Эквивалентная схема камеры

В большинстве случаев размер буквы или символа на экране монитора не превышает 3 мм, Y – это размер символа, который требуется распознать. Такой же размер можно взять и для символа на бумажном носителе. L – расстояние съемки. При использовании квадрокоптера для разведки помещений можно незаметно подводить его к окну практически вплотную или на расстояние 3–5 м от окна. Учитывая размер самого помещения не более 10 м, мы получим оптимальную дистанцию около 15 м.

F – фокусное расстояние объектива камеры. Размер Y' – это те самые 4 дискретных элемента разрешения матрицы камеры, на которые должно проецироваться изображение одного символа.

Наша задача состоит в определении необходимого разрешения камеры и выборе объектива для неё, которые помогут распознать текст на экране монитора компьютера или на бумажном документе, если они видны со стороны окна помещения.

Выбором фокусного расстояния нужно озаботиться заранее и выбрать его из имеющейся номенк-

латуры объективов. Например, объектив экшн камеры на рис. 6 имеет фокусное расстояние 25 мм.



Рис. 6. Экшн-камера, 25 мм

Из рис. 6 можно найти размер Y' при соблюдении изложенных выше условий:

$$Y' = Y \times F / L = (3 \times 25) / 1500 = 0{,}005 \text{ мм}.$$

Это размер четырех элементов разрешения. Тогда размер одного элемента матрицы будет 0,00125 мм.

При использовании наиболее распространенной матрицы формата 1/3 дюйма размер сторон составит 4,52 на 3,39 мм (рис. 7).

Формат матрицы	Диагональ матрицы (мм)	Соотношение сторон			
		4:3		16:9	
		Ширина (мм)	Высота (мм)	Ширина (мм)	Высота (мм
1/4	4.23	3.39	2.54	3.69	2.08
1/3	5.64	4.52	3.39	4.92	2.77
1/2.8	6.05	4.84	3.63	5.27	2.96
1/2.7	6.27	5.02	3.76	5.47	3.07
1/2.5	6.77	5.42	4.06	5.90	3.32
1/2	8.47	6.77	5.08	7.38	4.15

Рис. 7. Размеры матриц камер

Таким образом, число элементов разрешения матрицы по горизонтали составит 4,52 / 0,00125 = 3600, по вертикали – 3,39 / 0,00125 = 2700. Общее число элементов разрешения камеры 10 млн пикселей.

Разумеется, при таком разрешении речь будет идти только о фотосъемке. Для обеспечения требуемого разрешения при видеосъемке необходим объектив с фокусом порядка 50 мм.

Хорошая разведка достигается путем не только качественного технического оборудования, но и эффективным выбором квадрокоптера. Для того чтобы выбрать квадрокоптер для разведки, необходимо учитывать следующие факторы при его покупке: габариты, аккумулятор, дополнительные характеристики (GPS-приемник, автопилот), вес, разрешение камеры (если идет в комплекте). Габариты влияют на качество полета, его заметность при подлете к исследуемому объекту, качество съемки, продолжительность полета. Аккумулятор влияет на грузоподъемность и время полета квадрокоптера.

Заключение

В данной статье рассмотрены теоретические аспекты применения квадрокоптеров совместно со средствами акустической и оптической разведки. Дальнейшее исследование по данной теме предполагает проведение натурных экспериментов с использованием квадрокоптеров, доступных в нашем университете, благодаря Центру инжиниринга и робототехники и средств акустической разведки, имеющихся в лаборатории технической защиты информации кафедры информационной безопасности.

Литература

1. Меньшаков Ю.К. Теоретические основы технических разведок. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2008. – 536 с.

2. Гуляев В.П. Анализ демаскирующих признаков объектов информатизации и технических каналов утечки информации. – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2014. – 164 с.

3. Бузов Г.А. Защита информации ограниченного доступа от утечки по техническим каналам. – 2017. – 586 с.

4. Покровский Н.Б. Расчет и измерение разборчивости речи. – 1962. – 391 с.

5. Акустическая экспертиза каналов речевой коммуникации / В.С. Дидковский, М.В. Дидковская, А.Н. Продеус. – Киев, 2008. – 420 с.

Поликанин Алексей Николаевич
Ст. преп. Сибирского гос. ун-та геосистем
и технологий (СГУГиТ)
Эл. почта: polikanin.an@yandex.ru

Игнатенко Никита Вадимович
Бакалавр каф. ИБ СГУГиТ
Эл. почта: nikannor2010@yandex.ru

УДК 004.056

И.Р. Зулькарнеев, А.Е. Козлов, В.О. Нестор

Деанонимизация правонарушителей в сети Интернет

Статья описывает актуальность выявления правонарушителей в информационной сфере в процессе оперативно-розыскной деятельности. Авторами были рассмотрены основные способы анонимизации и предложены методы их деанонимизации. Проведен анализ каждого метода с точки зрения построения вектора атаки, ресурсозатратности и получаемых в результате реализации атаки данных о правонарушителе. Предложен путь развития средств деанонимизации для оптимизации и ускорения оперативно-розыскных мероприятий.

Ключевые слова: киберпреступления, деанонимизация, TOR, прокси, VPN, I2P, анонимность в сети Интернет, оперативно-розыскные мероприятия.

Постоянная цифровизация всех сфер деятельности человека повышает производительность труда, улучшает качество жизни и значительно облегчает взаимодействие между людьми вне зависимости от их территориального расположения, тем самым приближая четвертую промышленную революцию. Вместе с тем доступность и повсеместное использование Интернета привели к появлению такого понятия, как киберпреступления, и их постоянному росту [1]. Использование цифровых технологий позволяет злоумышленникам, как одиночкам, так и группировкам, совершать экономические преступления, осуществлять продажи нелегальных запрещенных товаров и сведений, призывы к терроризму, вести экстремистскую деятельность [2]. Все это обусловливает необходимость противодействия подобной активности и ставит решение актуальной задачи поиска и нахождения киберпреступников на первый план.

Одной из главных особенностей преступлений, совершаемых в сети Интернет, является использование современных механизмов обеспечения анонимности и сложных многокомпонентных структур с целью повышения скрытности [3]. Наиболее часто используемые средства повышения анонимности – использование сторонних proxy-серверов, VPN-тунелей, сети I2P, луковой маршрутизации, использование GSM-сети для доступа к сети Интернет, неперсонализированных аккаунтов социальных сетей, а также различные сочетания этих методов [4].

Для проведения оперативно-розыскной деятельности необходимо получить информацию, позволяющую сузить область поиска преступников или даже идентифицировать их. Это возможно с помощью следующих типов данных: mac-адрес, ip-адрес, социальные связи, номер телефона, геолокация, история транзакций, статистические данные браузеров и сайтов и др. [4]. Технологии анонимизации усложняют и замедляют данный процесс. Для противодействия злоумышленникам в сети Интернет, повышения результативности и скорости оперативно-розыскных мероприятий необходимо рассмотреть и проанализировать наиболее часто используемые технологии анонимизации, а также возможные методы противодействия им.

Деанонимизация TOR

Луковая маршрутизация (TOR – The Onion Router) является наиболее простым и общедоступным средством достижения анонимности. Подключение к ней возможно с любого современного устройства. Анонимность обеспечивается ретрансляцией трафика между несколькими узлами внутри сети, именуемых нодами, и его шифрованием на каждом из них. Как следствие, способы атаки на данную сеть зависят от ресурсов, которыми владеет деанонимизирующее лицо [5]. Выделим следующие методы атаки на сеть TOR.

В случае подавляющего контроля над нодами сети деанонимизация является тривиальной задачей, так как атакующий имеет возможность восстановления цепочки передачи данных. Иной вектор атаки – подмена списка переадресации трафика на скомпрометированные серверы, принадлежащие атакующему, посредством изменения программного обеспечения подконтрольных нод сети.

При контроле входного узла и конечной точки коррумпированный сервер может активно внедрять отличительные паттерны трафика (например, искусственная, специфичная задержка) с целью компрометации приватности пользователя. Также возможен сниффинг исходящего трафика (в случае использования протокола HTTP).

Использование пассивных timing-атак позволяет деанонимизировать пользователя по времени задержки трафика между входной и выходной нодами сети, между различными серверами внутри сети.

Оценивая ресурсозатратность данных методов, видим, что для успешной реализации атакующему необходимо обладать значительным количеством подконтрольных узлов, а в данный момент общее количество узлов сети TOR насчитывает более 7000 по всему миру [6]. Однако в случае успешной атаки возможно раскрытие не только IP-адреса пользователя, но и получение всего его трафика (а в случае использования протокола HTTP – истории запросов). Если атакующий обладает гораздо меньшим количеством ресурсов (несколько узлов сети), он может получить примерные данные о маршрутизации трафика, которые могут быть использованы для других методов деанонимизации в дальнейшем [7].

Деанонимизация proxy и VPN

При использовании злоумышленником технологий proxy и VPN-данные пользователя (внешний IP-адрес) подменяются на данные используемого сервера. Основное различие между двумя технологиями состоит в том, что в случае VPN – трафик между пользователем и сервером передается в зашифрованном виде (что делает невозможным сниффинг), а для proxy – в открытом. В такой ситуации, существует несколько методов деанонимизации.

Сопоставление данных о соединениях

На территории Российской Федерации действует система СОРМ (система оперативно-розыскных мероприятий), позволяющая оперативно обнаруживать и отслеживать, с какого пользовательского адреса производились подключения и обращения к VPN/proxy серверу с подозреваемым адресом. Зная время совершения киберпреступления и внешний IP-адрес сервера, можно получить данные пользователей, взаимодействующих с ним в нужный момент.

Проверка cookies браузера

Если злоумышленник использует различные подключения при использовании одного и того же сайта (со средствами анонимизации и без них), данный сайт может логировать и сопоставлять его ip-адреса со значениями хранимых у него cookie. В дальнейшем данная информация может быть проанализирована и однозначно идентифицирован пользователь.

Использование технологий Canvas, WebGL и Audio fingerprint

Все современные браузеры поддерживают и используют данные технологии для обработки мультимедийного содержимого. Стоит отметить, что каждый браузер и каждое устройство имеют свой собственный уникальный электронный след, основанный на обработке данных с использованием данных технологий. В совокупности с другими параметрами, такими как системное время, язык и версия операционной системы, эти данные образуют уникальный паттерн, однозначно идентифицирующий устройство. В дальнейшем он может быть сохранен сторонними сайтами и использован для идентификации пользователя (например, для выявления общего владельца нескольких аккаунтов в социальных сетях).

Официальный запрос владельцу данного VPN/proxy сервиса

Таким образом, данные технологии допускают множество векторов деанонимизации, различных по сложности реализации, ресурсным и временным затратам. Результатом всех атак становится идентификация пользователя, получение большого объема данных о нем либо значительное сужение круга подозреваемых, возможно получение IP-адреса его устройства, уникального паттерна системных характеристик браузера либо множества аккаунтов злоумышленника, среди которых могут находиться и личные. Однако использование нескольких зарубежных узлов, последовательно ретранслирующих трафик, значительно повышает сложность деанонимизации, обнаружения реального местоположения и сетевого адреса пользователя.

Деанонимизация I2P

Сеть I2P (invisible internet project) предназначена для сокрытия местонахождения серверов, в отличие от сети TOR, который скрывает внешний IP-адрес клиента, поэтому в невидимом Интернете размещается множество незаконных ресурсов, доступ к которым можно получить лишь став клиентом данной сети. I2P имеет два вида узлов: узлы-маршру-тизаторы, которые имеют как I2P-адрес, так и внешний IP-адрес, и узлы, которые не имеют собственных внешних IP-адресов. При обращении клиента к ресурсам строится туннель через случайно выбранные узлы, в итоге обеспечивается сквозная маршрутизация между сервером и клиентом. При деанонимизации в данной сети можно использовать следующие методы.

Если имеется достаточное количество подконтрольных узлов, то возможно узнать тоннель, через который происходит связь. Так как внешние узлы туннеля знают IP-адрес источника и получателя, то становится возможным компрометация туннеля.

При нехватке ресурсов возможна атака методом исключения, суть которой состоит в том, что выбирается обширная база узлов, в которой должен присутствовать атакуемый узел, далее отслеживается состояние атакуемого узла и остальных узлов. Исключаются те узлы, состояние активности которых отличается от атакуемого.

Возможна деанонимизация через открытый ключ. Так как передаваемые сообщения расшифровываются маршрутизаторами, а не конечными узлами, то становится возможным использовать открытый ключ как идентификатор конечного узла.

Все три метода требуют наличия подконтрольных узлов и дополнительной информации о нахождении цели атаки. В общем случае результатом проведения деанонимизации может стать лишь уменьшение множества подозреваемых IP-адресов, а не конкретный адрес в глобальной сети [8].

При регистрации в социальных сетях обязательным полем является номер телефона, подлинность которого проверяется смс-кодом. Подлинность иной информации не проверяется, а следовательно, может быть искажена с целью сохранения анонимности. Поле с номером телефона социальные сети позволяют скрыть, поэтому встает вопрос о идентификации и раскрытии аккаунта социальных сетей. Для деанонимизации страницы пользователя можно рассмотреть два метода: по истории браузера и по вспомогательной социальной сети. Для первого метода требуется заставить перейти по ссылке человека, чей аккаунт мы собираемся определить. По итогу этого метода мы получим множество аккаунтов, которые состоят в той же группе, что и целевое лицо.

Второй метод подразумевает наличие вспомогательной социальной сети, где обозначены «настоящие имена». Результатом этого метода является массовая деанонимизация пользователей, а именно функция отображения аккаунтов вспомогательной социальной сети на целевую сеть [9]. В более частных случаях могут быть использованы технические особенности конкретной социальной сети, такие как IP-адрес отправителя сообщений, деанонимизация администраторов сообществ и приложений «ВКонтакте», а также опубликованные, но еще не устраненные уязвимости.

Результатом деанонимизации аккаунта в социальной сети является либо сопоставление с «доверенной» социальной сетью, либо сужение круга подозреваемых аккаунтов цели.

Заключение

Приведенные выше способы деанонимизации требуют огромной подготовительной работы и большого количества ресурсов, которых обычно нет в ходе проведения оперативно-розыскной деятельности. В некоторых методах приводятся примеры добычи вспомогательной информации через вредоносный js-script для получения истории браузера. Если рассмотреть мобильные платформы, то помимо истории браузера можно получить данные о текущем соединении BSID Wi-Fi-точки, геоданные и другую информацию, которая поможет отследить местоположение цели.

Сама по себе задача деанонимизации не является примитивной и тривиальной. В настоящее время большинство атак на приватность требуют предва-

рительной подготовки, ресурсных и временных затрат атакующего, а также высокой квалификации. На практике в большинстве случаев для деанонимизации конкретного пользователя будет необходимо последовательно воспользоваться несколькими методами. Все это значительно затрудняет проведение оперативно-розыскной деятельности сотрудниками правоохранительных органов. В качестве одного из решений авторы предлагают разработку универсального программного обеспечения, которое бы позволяло использовать различные методы деанонимизации, в том числе людям с низкой квалификацией в области информационной безопасности.

Литература

1. Павлюков В.В. Компьютерная разведка как оперативно-разыскное мероприятие // Юридическая наука и практика: Вестник Нижегородской академии МВД России. – 2016.– № 4(36) – С. 236–241.

2. Куватов В.И., Примакин А.И., Якушев Д.И. Противодействие террористическим и экстремистским организациям в сети Интернет // Вестник Санкт-Петербургского ун-та МВД России. – 2015. – № 1(65) – С. 91–94.

3. Немов М.В. Киберпреступность как новая криминальная угроза // Эпоха науки. – 2017. – №9. – С. 47–50.

4. Сергеев С.М. Некоторые проблемы противодействия использованию в преступной деятельности средств обеспечения анонимизации пользователя в сети Интернет // Вестник Санкт-Петербургского ун-та МВД России. – 2017. – № 1(73). – С. 137–140.

5. Лазаренко А.В. Технологии деанонимизации пользователей Tor // Новые информационные технологии в автоматизированных системах. – 2016. – №19. – С. 257–262.

6. TOR, Metrics. – URL: https://metrics.torproject.org/networksize.html (дата обращения: 10.03.2019).

7. Avdoshin S.M., Lazarenko A.V. Deep web users deanonimization system // Труды ИСП РАН. – 2016. – № 3. – P. 21–34.

8. Egger C., Schlumberger J., Kruegel C., Vigna G. Practical Attacks against the I2P Network // Research in Attacks, Intrusions, and Defenses. – 2013. – LNCS 8145. – P. 432–451.

9. Башуев Я.П., Григорьев В.Р. Методы деанонимизации в социальных сетях // История и архивы. – 2016. – № 3(5). – С. 125–146.

Зулькарнеев Искандер Рашитович
Аспирант каф. информационной безопасности
ИМиКН ТюмГУ
Эл. почта: i.r.zulkarneev@utmn.ru

Козлов Андрей Евгеньевич
Студент каф. информационной безопасности
ИМиКН ТюмГУ
Эл. почта: akella449@gmail.com

Нестор Владимир Олегович
Студент каф. информационной безопасности
ИМиКН ТюмГУ
Эл. почта: v.o.nestor@utmn.ru

УДК 621.315

В.Е. Митрохин, Н.Е. Агарков

Параметры съема информации в высокочастотных симметричных кабелях

Рассматриваются эксплуатационные параметры симметричных кабелей, их влияние на возможность несанкционированного съема информации со смежных пар в симметричных кабелях. Для защиты от несанкционированного съема информации предлагается измерять величину диэлектрической проницаемости изоляции кабелей, которая непосредственно влияет на переходное затухание A_0, A_l, A_3 от частоты через частичные емкости между соседними парами и между жилами и металлической оболочкой кабеля в витых парах.
Приводятся примеры измерений относительной диэлектрической проницаемости на образце коаксиального кабеля и двухстороннего фольгированного текстолита.
Ключевые слова: съем информации, симметричный кабель, высокая частота, изоляция, диэлектрическая проницаемость, частичные емкости.

На сегодняшний день, несмотря на объективные преимущества оптоволоконных линий связи перед симметричными кабелями по максимальной протяженности линии между абонентами в локальных сетях (или от пользователя к провайдеру), пропускной способности, помехозащищенности, защите информации от несанкционированного съема и массе кабеля, симметричные кабели не уступают свои позиции волокну. В некоторых случаях [1] наблюдается обратная тенденция – провайдеру, в целях минимизации расходов, гораздо выгоднее проложить линию связи до пользователя по более дешевой витой паре (Fast Ethernet). Самая распространенная категория при прокладке FE – четырехпарная 5e (встречается и двухпарная). Кроме того, практика использования сетей показывает, что конечному пользователю в подавляющем большинстве случаев достаточно скорости в 50 Мбит/с, поэтому высокие пропускные способности волоконных кабелей остаются невостребованными. Однако в LAN сетях наблюдается тенденция к переходу на Gigabit Ethernet, что требует витую пару категорий 5e (только четырехпарная), 6 и 7.

Как известно, существует несколько типов витых пар (рис. 1) – UTP, STP и FTP, подразделяющихся еще на несколько более мелких по различиям.

Основными параметрами, влияющими на возможность съема информации с симметричного кабеля, а также на максимальную протяженность секции кабеля без усилителей, являются [1, 3]: переходное затухание – на ближнем конце A_0, на дальнем конце A_l, защищенность $A_з$, дб, которые напрямую зависят от частичных емкостей между жилами, между парами и между жилами и металлической оболочкой кабеля, а значит, напрямую зависят от величины диэлектрической проницаемости (ε) материалов изоляции, что также рассматривалось в работе по измерению затухания коаксиальных кабелей [2]. Формулы переходного и собственного затухания кабеля общеизвестны и приведены, например, в [3].

Невыполнение норм на переходное затухание A_0, A_l, $A_з$, приводимое в стандартах [4–7] для различных категорий витой пары по частоте, приводит к наводкам на соседние пары таких мощностей сигналов с соседних пар, что с них становится возможным несанкционированный съем информации (рис. 2).

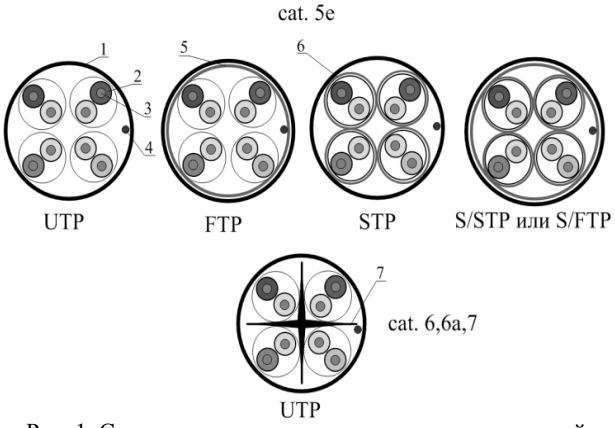


Рис. 1. Сечения витых пар различных типов категорий 5e, 6, 6a, 7: *1* – полиэтиленовая оболочка кабеля; *2* – изоляция жилы; *3* – жила; *4* – дренажный провод; *5* – общий экран кабеля в виде фольги; *6* – экран кабельной пары; *7* – крестообразная разделительная мембрана из диэлектрика

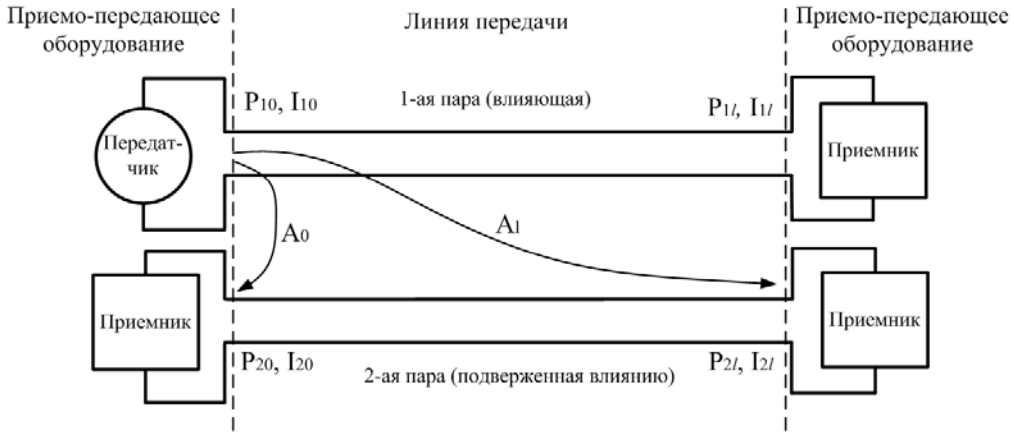


Рис. 2. Взаимные влияния между парами в симметричном кабеле

При расчете переходных затуханий используется значение наводимой мощности на пару кабеля, которое определяется наводимым током и напряжением [3]. Значения наводимых токов, в отличие от переходного затухания, не нормируются. Сами же токи зависят от величины ε изоляции жил и конструкции кабеля, о чем подробнее будет сказано ниже. Увеличение значения ε, таким образом, приводит к уменьшению переходного затухания и уменьшению защищенности передачи, ограничивая по нормам максимальную частоту передачи информации по линии передачи. В этом случае при несоблюдении норм появляется возможность съема информации со смежных пар.

Различия в эксплуатационных характеристиках витых пар можно разделить на несколько категорий:

1. Различия конструкции кабеля по количеству и расположению пар в кабеле (двухпарные (круглые или плоские), четырехпарные, многопарные), по применению экранирования самого кабеля или каждой пары или и того и другого вместе (FTP, STP), различный шаг скрутки для уменьшения переходных влияний, наличию дополнительных элементов, входящих в конструкцию (металлические тросы для подвешивания, дренажные провода, разделительные мембраны и т.д.).

2. Категория кабеля, установленная международными стандартами [4–7] и заявленная производителем кабельной продукции (в настоящее время, преимущественно, применяются кабели начиная с 5e категории для прокладки сетей 100 Мбит/с).

3. Реальные материалы, применяемые изготовителем для производства кабеля. В рамках одной категории материалы изоляции и жил могут быть различными, что приводит к разнице цен между самым дешевым вариантом и самым дорогим в несколько раз. Желание сэкономить зачастую может приводить к серьезным различиям характеристик кабелей, заявленных категорией по стандарту и измеренных на практике, что может стать причиной неработоспособности сети, если, например, требуется проложить кабель не на рекомендованные 90 м, а на 120–140 м, и, что самое нежелательное, это может стать причиной несанкционированного съема информации с пары кабеля, на которую наводятся помехи с соседних пар при малом уровне защищенности передачи данных (A_0, A_l, $A_з$). Дешевые биметаллические или даже стальные витые пары, имеющие спрос на рын-

ке, в большинстве случаев не отвечают заявленным характеристикам и нормам по затуханию.

4. Качество монтажа кабеля, соединительных муфт и оборудования, температура воздуха, где находится кабель, возможная сырость и вода, воздействующая на изоляцию жил, приводящая к серьезному ухудшению характеристик кабеля (при 100% заполнении симметричного кабеля ТПП водой значение ε изоляции возрастает на 75%, что вызывает рост частичных емкостей между жилами кабеля в одной паре, а также между соседними парами и между жилами и оболочкой кабеля), возраст эксплуатируемой линии и другие факторы, статистика которых приводится в [8].

Кабели типа UTP по взаимным влияниям пар в кабеле друг на друга значительно уступают кабелям STP и FTP, что отражено на рис. 3 [4] (категория 5e). На частоте 100 МГц разница во взаимном влиянии пар друг на друга составляет около 40 дб, что ограничивает скорость передачи для UTP.

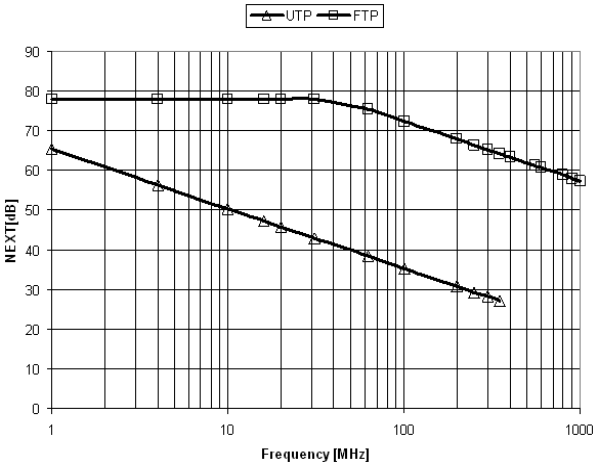


Рис. 3. Взаимные влияния пар друг на друга в экранированной и неэкранированной витой паре

Однако не только экранированием можно добиться увеличения переходного затухания и защиты от несанкционированного съема полезной информации, но и применением в качестве изоляции жил кабеля диэлектриков с малым значением величины ε и малым углом диэлектрических потерь, что уменьшает погонные емкости пар в кабеле, а из-за их близкого взаимного расположения в общей оболочке приводит к уменьшению и взаимных влияний пар друг на друга и с экраном кабеля, если он есть (FTP, STP) (особенно в многопарных кабелях), выражающихся в соотношениях A_0, A_l, $A_з$.

В самых недорогих решениях, представленных на рынке, изоляцией жил витой пары является поливинилхлорид с разбросом значений ε 3,2–8 [9]. Далее идут полиэтилен и полипропилен с ε 2,2–2,3. В особо высококачественных кабелях в рамках одной категории в качестве изоляции жил применяется вспененный полиэтилен с ε 1,5–1,7 или фторопласт-4 (тефлон) с ε 1,9–2,2 с очень малыми диэлектрическими потерями и неизменностью значения ε вплоть до частоты 10 ГГц. Дальнейшее уменьшение ε изоляции, применяемой в кабелях, ограничивается состоянием современной химии и технологий, ведь одного уменьшения ε недостаточно для длительного и надежного функционирования кабельных линий в изменяющихся условиях среды.

В [10] приводится подробный обзор выпускаемой фирмой Hyperline кабельной продукции, в том числе витых пар различных категорий с указанием материалов изоляции жил, сечением жил, указанием переходных затуханий для кабелей. Имеющиеся данные свидетельствуют о том, что с ростом категории кабеля увеличиваются диаметры жил, применяются все более совершенные диэлектрики для изоляции, уменьшаются погонные емкости витых пар (категория 6 – 56 пФ/м, категория 7a – 43 пФ/м [10]), улучшаются характеристики переходного затухания.

Поэтому авторами разрабатывается установка по определению величины ε изоляции кабелей телекоммуникаций и печатных плат с помощью конденсаторного метода [11]. В качестве образца для измерения может быть взят отрезок коаксиального кабеля, витая пара, двухсторонний фольгированный текстолит, рассматривается возможность подключения образцов металлокерамики.

На рис. 4 представлена принципиальная схема проектируемой установки.

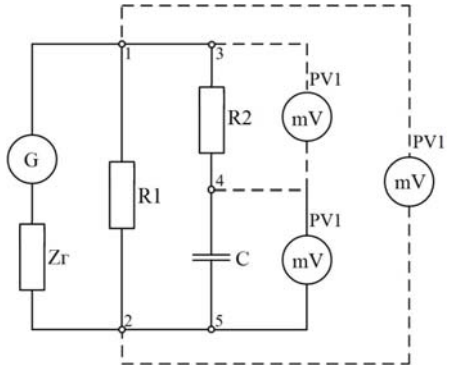


Рис. 4. Схема проектируемой установки

Принцип работы установки сводится к следующему: имеется нагрузочный резистор R1 сопротивлением 55 Ом для согласованного подключения к генераторному оборудованию $Z_г$. В параллельной ему цепи находятся конденсатор C (исследуемый образец) и измерительный резистор R2 с точно известным сопротивлением, который меняется методом пайки в зависимости от подаваемой частоты сигнала генератора от 270 Ом до 1 МОм, позволяющий, во-первых, рассчитать ток в последовательной цепи резистора и конденсатора по закону Ома, а во-вторых, измерить соотношение падения напряжения на этом резисторе и образце, позволяющее для конкретной частоты вычислить по измеренным величинам напряжения параметр ε изоляции между обкладками конденсатора-образца. Для этого необходимо знать параметры конструкции образца, такие как площадь обкладок и расстояние между ними, или длину и отношение радиусов внутренней жилы и оплетки.

На рис. 5 и 6 представлены результаты измерения величины ε исследуемых образцов.

На обоих графиках в области высоких частот наблюдается заметный рост величины ε. Это связано с проявлением паразитной индуктивности образцов.

На рис. 7 приведен оценочный график зависимости наводимых токов на ближний и дальний конец от частоты сигнала при двух значениях величины ε изоляции кабеля. ε_1 – отражает ситуацию из справочных данных, ε_2 – измеренное значение, обусловленное факторами, описанными выше.

На рис. 8 приведен оценочный график переходного затухания при различных значениях ε и соотношения с нормами на высокой частоте. Из формул переходного затухания [3] следует, что чем больше токи, наводимые на смежные пары, тем меньше величина переходного затухания A_0, A_l, $A_з$. Для A_0 спектр частот с f_1 до $f_н$ (частота, на которой при заявленной категории кабеля выполняется норма по переходному затуханию (ε_1)), а для A_l с f_2 до $f_н$ является спектром, в котором возможен несанкционированный съем информации.

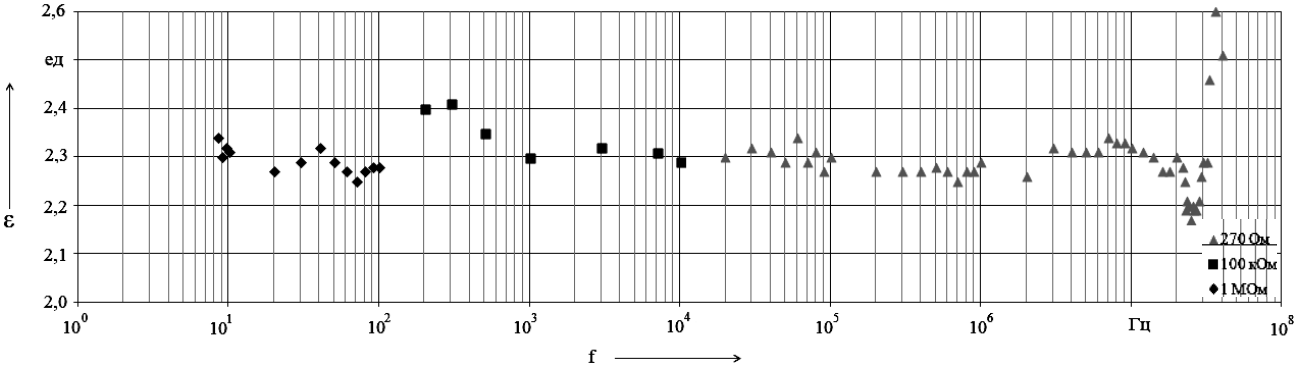


Рис. 5. График изменения величины ε кабеля РК-75-4-12 (три отрезка по 0,385 м)

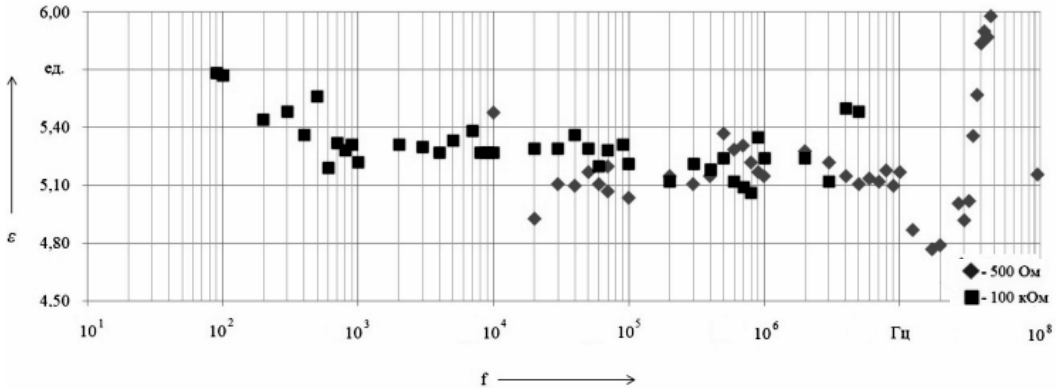


Рис. 6. График изменения величины ε стеклотекстолита FR-4

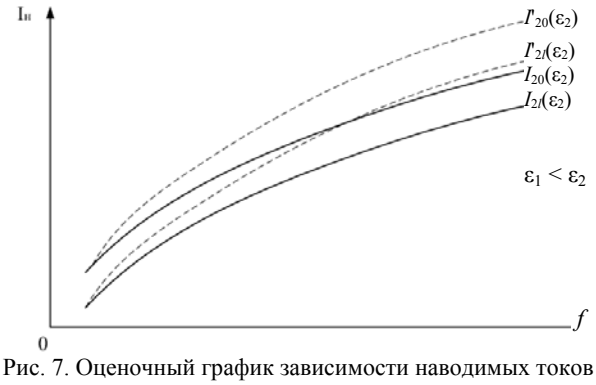


Рис. 7. Оценочный график зависимости наводимых токов на ближний и дальний конец линии передачи от частоты сигнала

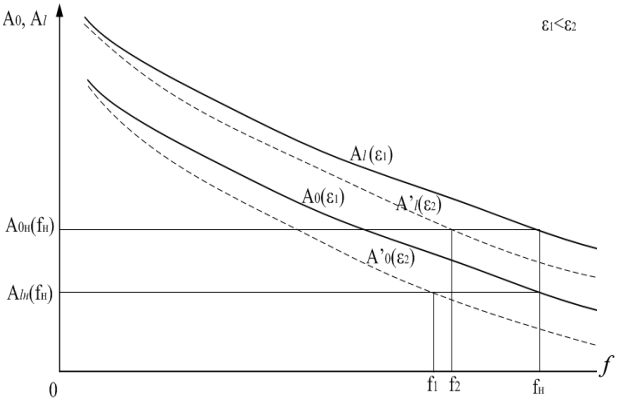


Рис. 8. Оценочный график переходного затухания при различных значениях ε

Таким образом, рассмотрена проблема защиты информации при передаче по симметричным кабелям. Для ее решения предлагается измерять значение ε изоляции кабелей в широких спектрах частот, представляя соседние жилы витой пары как обкладки конденсатора.

Приведены примеры измерения величины ε кабеля РК-75-4-12 и двухстороннего фольгированного текстолита. Этим же методом предлагается измерять параметры ε между парами, жилами, жилами и экраном в витых парах. Как было показано в тексте статьи, несоблюдение норм на переходное затухание

для различных категорий витой пары и других типов симметричных кабелей по частоте приводит к наводкам на соседние пары таких мощностей сигналов с соседних пар, что с них становится возможным несанкционированный съем информации.

Литература

1. Семенов А.Б. Симметричные кабели для построения сетей доступа // ИнформКурьер-Связь. – М., 2017. – № 3,4. – С. 89–91.

2. Митрохин В.Е. Экспериментальная проверка адекватности модели коаксиального кабеля в широком диапазоне частот / В.Е. Митрохин, С.Н. Занкин // Техника радиосвязи (Омск). – 2017. – № 3(34).

3. Гроднев И.И. Линии связи / И.И. Гроднев, С.М. Верник. – М.: Радио и связь, 1988. – С. 120–127.

4. TIA/EIA-568-B.2 Commercial Building Telecommunications Cabling Standard. Part 2: Balanced Twisted-Pair Cabling Components.

5. ISO/IEC 11801. Стандарт телекоммуникационной инфраструктуры коммерческих зданий.

6. ГОСТ Р 53538–2009. Многопарные кабели с медными жилами для цепей широкополосного доступа. Общие технические требования.

7. ГОСТ Р 54429–2011. Кабели связи симметричные для цифровых систем передачи. Общие технические условия.

8. Иванцов И.В. Диагностика кабельных линий // Журнал сетевых решений / LAN. – М., 2003. – № 12.

9. Григорьев И.С. Физические величины. Справочник / И.С. Григорьев, Е.З. Мейлихов и др. – М.: Энергоатомиздат. – 1991. – С. 549–550.

10. Hyperline cabling systems Каталог. Кабельная продукция.

11. Брандт А.А. Исследование диэлектриков на сверхвысоких частотах. – М.: Физматгиз, 1963. – 406 с.

Митрохин Валерий Евгеньевич
Д-р техн. наук, профессор каф. телекоммуникационных, радиотехнических систем и сетей (ТРСиС)
Омского гос. ун-та путей сообщения (ОмГУПС)
E-mail: mitrokhin@list.ru.

Агарков Никита Евгеньевич
Студент каф. ТРСиС ОмГУПС
E-mail: agarkov.nikita@gmail.com

УДК 004

М.А. Поляничко

Подход к оцениванию ценности информационных активов организации при противодействии инсайдерам

Развитие методов противодействия инсайдерам – одна из приоритетных задач в области информационной безопасности, так как деятельность инсайдеров несет значительную угрозу различным аспектам деятельности организаций. Выбор адекватных мер противодействия – сложная задача, решение которой в большинстве случаев требует индивидуального подхода и понимания возможных последствий от действий конкретного инсайдера. В целях развития методов оценивания потенциального ущерба в данной статье рассматривается подход к оценке ценности информационных активов, к которым имеет доступ работник организации, учитывающий не только стоимость информации, но и другие свойства, влияющие на ее важность для организации.
Ключевые слова: инсайдер, инсайдерская деятельность, инсайдерская угроза, информационная безопасность, информационный актив.

Деятельность инсайдеров несет значительную угрозу для организаций, так как их действия могут наносить ущерб репутации, бренду и финансовому положению. В современных условиях наблюдается рост инцидентов информационной безопасности, связанных с деятельностью инсайдеров [1–3]. В первую очередь данная ситуация связана с цифровизацией всех направлений деятельности и развитием различных сервисов, упрощающих доступ к информационным активам организации. Преодоление данной ситуации требует создания и развития специализированных методов обнаружения инсайдеров и противодействия им. Так как выработка мер противодействия может быть индивидуальной для каждого случая, требуется развитие подходов, позволяющих оценить адекватность используемых мер противодействия. В случае противодействия инсайдерам для понимания возможных последствий от их действий требуется определение ценности информационных активов, к которым они имеют легитимный доступ.

Актуальной проблемой оценки ущерба от деятельности инсайдеров является определение ценности информационных активов, к которым имеет доступ потенциальный злоумышленник. Эта проблема становится особенно актуальной, если для оценки используются количественные методы, которые подразумевают наличие конкретной информации о стоимости активов. В данной работе предлагается оценивать ценность актива, основываясь на его использовании для реализации услуг использующего его бизнеса. Активы и имущество могут быть разделены на нематериальные активы (информация, данные, знания и т.д.) и материальное имущество (обо-

рудование и другие физические активы) [4]. Информационные активы, как и имущественные, имеют стоимость, которая может складываться из стоимости приобретения, хранения и поддержки, но, при этом ценность информационная актива не обязательно должна напрямую зависеть от стоимости, так как существуют и другие свойства, которые надо учитывать при оценке ценности информации. К таким свойствам можно отнести [6, 7]:

1. Информация может распространяться в неограниченном количестве.
2. Ценность информации растет по мере увеличения сфер ее применения.
3. Со временем информация может терять ценность.
4. Точность информации увеличивает ее ценность.
5. Ценность информации растет при ее объединении с другой информацией.
6. Объем информации не обязательно увеличивает ее ценность.
7. Информация является неистощаемым ресурсом.

В рамках данной работы рассматривается оценка различных видов информационных активов, в том числе баз данных, системной документации, руководств пользователя, оперативных процедур, прикладного и системного программного обеспечения.

В современных условиях наблюдается рост ценности нематериальных активов, так как растут значимость и влияние информационных активов на успешность бизнеса в целом. В связи с цифровизацией всех отраслей деятельности государства и бизнеса такая тенденции сохранится. В таких условиях определить ценность информационных активов становится затруднительно, и, как правило, полученная оценка может носит субъективный характер.

Несмотря на то, что универсального метода, позволяющего решить задачу оценивания ценности информационного актива, не существует, существуют различные подходы, позволяющие дать оценку ценности информации на основе определенного набора критериев [5].

Определение стоимости нематериальных активов является обязательным условием при оценке рисков информационной безопасности. В данной статье рассматриваются параметры, определяющие ценность информационных активов, и предлагается подход к их оценке. Для дифференцирования выделения финансирования на обеспечение информационной безопасности различных информационных активов необходима разработка метода, позволяющего определить, что некоторый информационный актив является более важным, чем другие. При оценке ценности актива необходимо принимать во внимание форму его представления, способы работы с ним и структуру характеристик, формирующих его ценность. Еще одна причина затруднения оценки ценности информационных активов заключается в том, что, как правило, конкретные количественные данные о влиянии оцениваемых активов на результаты деятельности организации отсутствуют.

На основании этих свойств предлагается опросный лист, позволяющий дать оценку ценности информационного актива (табл. 1).

Таблица 1

Опросный лист для экспертной оценки ценности ИА

№	Вопрос	Ответы	Балл ответа
1	Что произойдет, если этот информационный актив исчезнет?	Ничего особенного	0
		Незначительно снизится эффективность работы	1
		Без него возникнут сложности, но актив заменяемый	2
		Без актива возникнут новые ненужные расходы	3
		Произойдут большие задержки в работе и потребуется его замена	4
2	Сколько будет стоить замена информационного актива или создание нового?	Пренебрежительно мало	0
		Стоимость существует, но она низкая	1
		Значительные затраты	2
		Высокая стоимость	3
		Неприемлемо высокая стоимость	4
3	Что произойдет, если конкурент будет обладать такой же информацией?	Ничего	0
		Конкурент получит минимальные знания о работе организации	1
		Конкурент получит понимание важных процессов	2
		Конкурент сможет догнать организацию	3
		Конкурент сможет получить преимущество	4
4	Существуют ли обязательства по хранению информации и существуют ли юридические последствия в случае ее потери?	Не существуют	0
		Необходимо хранить информацию непродолжительное время	1
		Организация должна хранить информацию, но последствий за нарушение не существует	2
		Хранение обязательно и организация может столкнуться с наказанием за неисполнение	3
		Хранение обязательно и организация может столкнуться с серьезным наказанием за неисполнение	4
5	Теряется ли важность информации со временем?	Очень быстро	0
		Быстро	1
		После 1 года	2
		После нескольких лет	3
		Не теряется	4

На основании результатов информационный актив может быть отнесен к одному их пяти уровней ценности информационного актива (табл. 2).

Таблица 2

Уровни ценности информационных активов

Уровень	Диапазон баллов	Описание
Очень низкий	0–4	Информационный актив не имеет экономической ценности и может быть заменен с минимальными затратами
Низкий	5–8	Информационный актив представляет небольшую ценность, а его потеря имеет небольшое влияние на деятельность организации
Средний	9–12	Информационный актив важен, но может быть заменен. Потеря имеет умеренные последствия
Высокий	13–16	Информационный актив особенно важен для организации и его уничтожение может иметь серьезные последствия для организации
Очень высокий	17–20	Наиболее ценный информационный актив, потеря которого имеет комплексное влияние на организацию

$$W = \{w_1, w_2, \ldots, w_m\}, \quad (1)$$

где w_i – оценка стоимости информационного актива, m – количество информационных активов.

Оценки совокупной ценности информационных активов, доступных пользователю u_i может быть получена по формуле

$$CV_i = \sum_{j=1}^{m} a_{ij} \times w_j \Big/ \sum_{j=1}^{m} a_{ij}, \quad (2)$$

где $a_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{доступ есть} \\ 0, & \text{доступа нет} \end{cases}$ – наличие доступа у пользователя i к ресурсу j.

Заключение

Обнаружение инсайдеров и противодействие им – комплексная задача, которая в силу непредсказуемости человеческого поведения [8] не имеет определенного шаблонного решения. Статистика показывает, что есть основания полагать, что текущая тенденция к росту количества инцидентов информационной безопасности, связанных с деятельностью инсайдеров сохранится. Предложенный подход к оценке ценности информационных активов может быть внедрен в процессы противодействия инсайдерской деятельности [9]. Использование данного подхода даст возможность определить инсайдеров, наиболее опасных для работы организации, и выбрать оптимальный набор мер противодействия.

Литература

1. Распоряжение Правительства РФ от 28.07.2017 № 1632-р. Об утверждении программы «Цифровая экономика Российской Федерации».

2. Insider Threat Report: 2018 – CA Technologies // CA Technologies. – URL: https://www.ca.com/content/dam/ca/us/files/ebook/insider-threat-report.pdf (дата обращения: 18.07.2018).

3. Поляничко М.А., Королев А.И. Критерии классификации инсайдеров // Естественные и технические науки. – 2018. – № 9, вып. (123). – С. 149–151.

4. Humphreys E.J. Guide to BS 7799 Risk Assessment and Risk Management. British Standards Institution. – London, 1998.

5. Sajko M., Rabuzin K., Bača M. How to calculate information value for effective security risk assessment // Journal of Information and Organizational Sciences. – 2006. – № 2(30). – P. 263–278.

6. Glazer R. Measuring the Value of Information: The Information Intensive Organisation // IBM Systems Journal. – 1993. – Vol 32, No. 1.

7. Moody D., Walsh P. Measuring The Value Of Information: An Asset Valuation Approach // Seventh European Conference on Information Systems (ECIS'99). – 1999. – P. 1–17.

8. Поляничко М.А. Моделирование действий инсайдеров на основе аппарата информатики поведения // Естественные и технические науки. – 2018. – № 12, вып. (126). – P. 446–449.

9. Поляничко М.А. Модель зрелости процессов противодействия внутренним угрозам // Естественные и технические науки. – 2018. – № 11, вып. (125). – С. 452–456.

Поляничко Марк Александрович
Канд. техн. наук, доцент каф. информатики
и информационной безопасности
ФГБОУ ВО Петерб. гос. ун-т путей сообщения
Императора Александра I (ФГБОУ ВО ПГУПС)
ORCID (0000-0002-8817-7921)
Эл. почта: polyanichko@pgups.ru

УДК 004.89

А.А. Соболев, А.В. Куртукова, А.С. Романов, М.И. Васильева

Определение возраста автора анонимного текста

Определение возраста автора анонимного текста является важной частью безопасности в Интернете. Цель работы – изучение информативных признаков в тексте для каждой возрастной категории, а также получение наилучшей архитектуры нейронной сети для определения возраста автора анонимного текста. В ходе выполнения работы все тексты были разделены на две группы, которые соответствуют возрастным категориям. Был проведен анализ текстов и выявлены признаки, которые отличают возрастные группы. На основе результатов экспериментов с восьмью различными архитектурами нейронных сетей была выбрана лучшая из них, показавшая точность более 70%. Анализ и эксперименты проводились на базе рецензий с сайта «Кинопоиск».

Ключевые слова: машинное обучение, нейронная сеть, возраст, анонимный текст, признаки текста.

В последнее время большой популярностью пользуются социальные сети. При регистрации пользователь может намеренно указать неправильный возраст. Система определения возраста по тексту сможет разграничивать пользователей для борьбы с педофилией, а также позволит бороться с проблемой недопущения детей до взрослого контента. Кроме того, данная система может помочь в решении смежной задачи деанонимизации текста. Представленные аргументы позволяют сделать вывод о том, что определение возраста автора текста является важным аспектом информационной безопасности.

Полученное решение также может оказаться полезным при проведении криминалистических экспертиз. Например, при обнаружении автора анонимной записки с угрозами или при идентификации автора предсмертной записки в случае необходимости подтверждения версии самоубийства.

Существуют различные методы решения данной проблемы, один из них – автороведческая экспертиза, но для ее проведения требуется привлечение экспертов в области лингвистики и филологии. Для решения поставленной задачи также можно использовать методы машинного обучения и нейронные сети (НС), зачастую демонстрирующие положительные результаты для анализа текстов.

Исследования на русском языке, посвященные определению возраста автора текста и выделению характерных авторских признаков, отсутствуют, однако данная проблема была рассмотрена многими зарубежными исследователями.

Авторы статьи [1] разделяли авторов текстов на три возрастные категории: 13–17, 20–33 и 33–47. Ими была использована продвинутая байесовская сеть. Авторы статьи основывались на 15 лексических классах слов. Итоговая точность составила 61,76%. Авторы отметили, что намерены интегрировать в модели синтаксис, морфологию и т.п., так как лексических классов слов недостаточно для точного определения возраста автора текста.

В статье [2] используются аналогичные возрастные промежутки. Метод основывается на контекстах слов и позволяет сделать вывод о том, что дети до 17 лет пишут преимущественно о своих друзьях и школе, подростки – о жизни в университете, а взрослые люди – о браке, работе и политике.

Авторы статьи [3] используют тексты из социальных сетей и разделяют авторов на 4 возрастные категории: 10–20 лет, 20–30 лет, 30–40 лет и после 40. Точность модели – 71,1% Авторы также экспериментировали с другими возрастными категориями. Лучший результат был достигнут для возрастных категорий до 18 и после 25 лет.

Также было рассмотрено исследование, основанное на показателях средних длин слов и предложений и использовании сленговых слов [4].

Таким образом, цель работы – изучение и тестирование различных методов машинного обучения и выявление лучших из них для определения возраста автора анонимного текста.

Анализ корпуса текстов

Целью классификации текста является его отнесение к одной или нескольким категориям. В настоящее время доминирующим подходом к созданию классификаторов является машинное обучение, то есть изучение правил классификации по примерам. Чтобы построить такие классификаторы необходимы размеченные данные, состоящие из текстов и соответствующих им меток категорий.

В рамках исследования было собрано свыше 70 тыс. рецензий на фильмы с сайта «Кинопоиск». Помимо возраста авторов отзывов была собрана информация о поле автора и его оценках на фильм.

Тексты были разделены на возрастные категории: младше 18 лет и старше 23 лет. Распределение базы данных по возрастным категориям дано в табл. 1.

Тексты, авторам которых от 18 до 22 лет, не брались в расчет, так как за пару лет стиль письма у человека не может сильно измениться. Также в это время человек может продолжать учиться в высших учебных заведениях.

Данные категории выбраны по причине того, что до 18 лет люди учатся в школе, поэтому ими обсуждаются другие темы, они имеют отличный от взрослых стиль письма и меньший словарный запас.

Имеющийся корпус не позволяет осуществить разбиение на более мелкие возрастные категории, так как не гарантирует достоверность указанной пользователем информации о возрасте.

Таблица 1

Распределение базы данных

Возрастная категория	Количество рецензий	Пол	
До 18 лет	37749	М	20505
		Ж	17244
После 23 лет	33084	М	23257
		Ж	9827

Всего было выбрано 18 признаков для дальнейшего их выделения в текстах: морфологические признаки, средние длины слов и предложений, различные метрики сравнения со словарями (табл. 2).

Таблица 2

Отличительные признаки

Признаки	До 18 лет	После 23 лет
Среднее количество «умных» слов	0,0002	0,00035
Количество повторов слов	0,075	0,071
Средняя длина предложения	81,1	90,4

Словарь «умных слов» состоит в основном из научных терминов, редких и сложных слов. Люди старшего поколения употребляют больше таких слов, так как имеют больший словарный запас в сравнении с людьми младшего поколения. По той же причине молодые люди чаще повторяются в своих текстах, используют одни и те же слова.

Молодые люди чаще пишут короткие предложения, люди старшего поколения предпочитают развернутые и длинные предложения.

Морфологический анализ не дал существенных результатов, все значения оказались примерно одинаковыми. Орфографические ошибки допускают в равной степени обе возрастные группы.

Моделирование архитектуры НС

В последнее время предложено множество различных архитектур НС для решения задач обработки естественного языка. Для определения возраста автора анонимного текста были взяты восемь моделей, построенных на механизме внимания и глубоком обучении, а также рекуррентные модели.

Модель FastText предложена в статье [5]. Суть модели FastText заключается в том, что вместо непосредственного изучения векторного представления слов используется представление в виде суммы векторов *n*-грамм символов. Это позволяет создавать представления слова, которых не было в корпусе. Такой подход имеет возможность лучшего представления редких и необычных слов. Слои модели FastText представлены на рис. 1.

Также была использована модель TextCNN, предложенная в статье [6]. Сверточная НС хорошо справляется с решением задач компьютерного зрения. Но данные модели можно использовать для обработки естественного языка, в частности, в текстовой классификации. Принцип работы с текстами похож на работу этой модели с изображениями. Берется фиксированная длина предложений, для каждого предложения используется словарь слов, чтобы также получить фиксированный размер, таким образом, на вход подается матрица размером *n* на *d*. После производится свертка входного слоя. Слои архитектуры представлены на рис. 2.

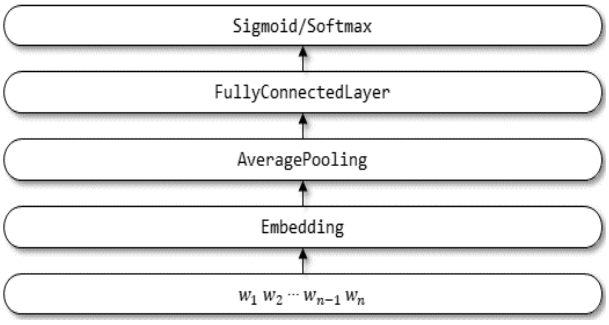


Рис. 1. Слои модели FastText

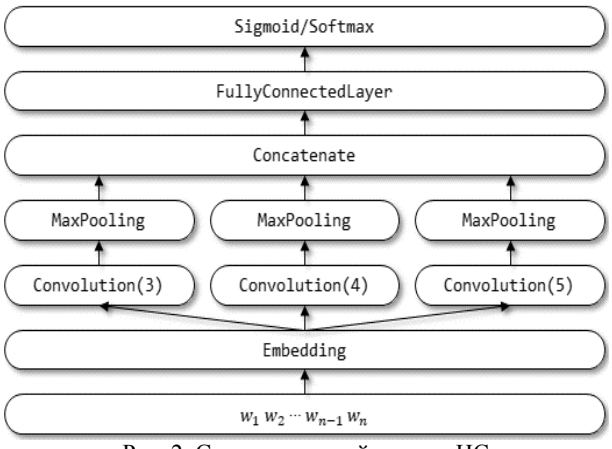


Рис. 2. Слои сверточной модели НС

Также использовалась архитектура, предложенная в статье [7] – TextRNN. Ее идея заключается в последовательном использовании информации. Такие НС имеют память, то есть могут запоминать предшествующую анализируемому токену информацию. Рекуррентные НС продемонстрировали большой успех в задачах обработки естественного языка. Наиболее часто используют LSTM, которые лучше всего хранят долгосрочные зависимости. Также использовались две модификации рекуррентных НС – TextBiRNN и TextAttBiRNN [8, 9].

Еще одной моделью, использующую механизм внимания, была выбрана HAN [10]. Архитектура состоит из пяти элементов:

1. Word Encoder: каждое слово в предложении представляется вектором слов в векторном пространстве. Используется BiGRU для кодирования предложения. После объединения векторов двух направлений формируется представление предложения, которое захватывает контекстную информацию.

2. Word Attention: с помощью однослойной функции MLP вычисляются нормализованные веса важности слов. Вектор предложения вычисляется как взвешенная сумма аннотаций слов.

3. Sentence Encoder: аналогично Word Wncoder используется BiGRU для кодирования предложений с целью получения аннотации для предложения.

4. Sentence Attention: аналогично Word Attention используется MLP для получения весовых коэффициентов. Затем вычисляется взвешенная сумма аннотаций предложений на основе весов, в итоге получается вектор всего документа.

5. Document Classification: функция Softmax применяется для получения выходного распределения вероятностей принадлежности целевому классу.

Также была реализована рекуррентная сверточная НС (RCNN), предложенная в статье [11]. Такая НС обладает меньшим числом фильтров и параметров, однако также изучает прошлый и будущий контексты слова. Кроме того, была использована улучшенная архитектура RCNN-Variant, которая используют похожую структуру, однако не изучает контексты.

Эксперимент и анализ результатов

Для обучения и тестирования моделей было необходимо подготовить тексты и уравнять их количество для каждой возрастной категории, всего для обучения и тестирования выбрано более 66 тыс. образцов текстов.

Подготовка текстов заключалась в том, что были удалены все символы, кроме букв русского алфавита, и лишние пробелы. Также все слова лемматизированы с целью повышения эффективности процедуры векторизации. После подготовки все тексты были приведены в векторный вид с помощью библиотеки NLTK

Для оценки эффективности модели применялась перекрестная проверка по *K* блокам. Все модели обучались и тестировались на одних и тех же данных с количеством блоков, равным 10. Результаты перекрестной проверки для текстов с различным количеством эпох представлены в табл. 3.

Таблица 3

Результаты тестирования, %

Модель / Эпохи	1	2	3	4	5	6
FastText	68,25	70,74	71,65	71,67	71,4	70,78
TextCNN	68,96	67,74	69,64	68,86	67,68	67,44
TextRNN	58,33	68,82	68,16	68,65	67,16	67,57
TextBiRNN	65,54	68,07	66,74	68,78	67,69	66,92
TextAtt-BiRNN	70,8	71,28	71,1	70,89	69,62	70,03
HAN	70,55	70,8	70,76	69,73	68,96	68,68
RCNN	49,73	56,6	50,27	62,12	52,06	59,6
RCNN Variant	70,84	70,8	70,09	69,47	67,77	66,71

Точность, полученная методом «*K*-Fold», достигает 71,67%. Такую точность демонстрирует модель «FastText». Линейная модель превзошла сложные архитектуры НС как по точности, так и по времени работы. На обучение одной эпохи модели «FastText» уходит 1 мин, что в 60 раз быстрее других рассмотренных архитектур. Сравнение времени работы представлено в табл. 4.

Таблица 4

Время обучения моделей

Модель	Время обучения одной эпохи, мин
FastText	1
TextCNN	4,2
TextRNN	11,5
TextBiRNN	31
TextAttBiRNN	35,3
HAN	16,7
RCNN	61,4
RCNN Variant	53,3

Худший результат показала модель «RCNN», она отличается от других моделей тем, что у нее три входа для изучения левого и правого контекста слов. Такая модель не подходит для решения проблемы определения возраста автора анонимного текста, так как схожая архитектура с одним входом показала результат намного лучше.

Заключение

Исходя из табл. 3, все архитектуры, за исключением RCNN, показали примерно одинаковые результаты. Однако следует отметить, что НС с механизмом внимания начинали показывать удовлетворительные результаты с первых эпох обучения.

Для повышения точности модели необходимы проверенные данные, так как пользователи сайта «Кинопоиск» могут указывать неправильный возраст. Этим обусловлена необходимость сбора текстов с гарантированно достоверными возрастами.

В дальнейшем планируется тестирование и использование более современных и сложных архитектур НС, таких как Bert, Transformer и т.п.

Литература

1. Seifeddine M., Maher J., Rim F., Heni B. Author profiling: Age prediction based on advanced Bayesian networks // Research in Computing Science. – 2016. – Vol. 110. – P. 129–137.

2. Santosh K., Bansal R., Shekhar M., Varma V.K. Author Profiling: Predicting Age and Gender from Blogs Notebook for PAN at CLEF // CLEF. – 2013. – P. 5.

3. Peersman C., Walter D., Vaerenbergh L. Predicting age and gender in online social networks // International Conference on Information and Knowledge Management, Proceedings. – 2011. – P. 37–44.

4. Sumit G., Sudeshna D., Mayur R. Stylometric Analysis of Bloggers' Age and Gender // PReMI '09 Proceedings of the 3rd International Conference on Pattern Recognition and Machine Intelligence. – 2009. – P. 205–212.

5. Armand J., Edouard G., Bojanowski P., Mikolov T. Bag of Tricks for Efficient Text Classification [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://aclweb.org/anthology/E17-2068, свободный (дата обращения: 03.08.2019).

6. Kim Y. Convolutional Neural Networks for Sentence Classification. Proceedings of the 2014 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.research-gate.net/publication/265052545_Convolutional_Neural_Networks_for_Sentence_Classification, свободный (дата обращения: 06.08.2019).

7. Liu P., Qui X., Huang X. Recurrent Neural Network for Text Classification with Multi-Task Learning // IJCAI'16 Proceedings of the Twenty-Fifth International Joint Conference on Artificial Intelligence – New York, USA: July 09–15, 2016. – P. 2873–2879.

8. Bahdanau D., Cho C., Bengio Y. Neural Machine Translation by Jointly Learning to Align and Translate [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://arxiv.org/abs/1409.0473, свободный (дата обращения: 13.08.2019).

9. Raffel C., Ellis D. Feed-Forward Networks with Attention Can Solve Some Long-Term Memory Problems [Электронной ресурс]. – Режим доступа: https://arxiv.org/abs/1512.08756, свободный (дата обращения: 15.08.2019).

10. Yang Z., Yang D., Dyer C., Hovy E. Hierarchical Attention Networks for Document Classification // ICISCAE – Changchun, China, 2018. – P. 476–481.

11. Lai S., Xu L., Liu K. Recurrent Convolutional Neural Networks for Text Classification // AAAI'15 Proceedings of the Twenty-Ninth AAAI Conference on Artificial Intelligence. – Austin, Texas: January 25–30, 2015. – P. 2267–2273.

Соболев Артем Александрович
Студент каф. БИС ТУСУРа
Эл. почта: bingjo-ya@yandex.ru

Куртукова Анна Владимировна
Студентка каф. БИС ТУСУРа
Эл. почта: av.kurtukova@gmail.com

Романов Александр Сергеевич
Канд. техн. наук, доцент каф. БИС ТУСУРа
Эл. почта: alexx.romanov@gmail.com

Васильева Марина Игоревна
Студентка КИБЭВС ТУСУРа
Эл. почта: mariaigorevna1206@gmail.com

УДК 621.396.41

И.С. Рыбина, К.П. Гужаковская

Разработка подсистемы безопасности системы «Сетевой город»

В представленной подсистеме рассматриваются модули, которые были разработаны в дополнение к системе «Сетевой город». Данные модули образуют систему «Безопасность школьников», которая позволяет контролировать посещаемость и успеваемость ребенка, а также, пополнять его баланс карты для школьной столовой. Система основана на использовании микроконтроллера Arduino и датчика считывания RFID-модуль RC522.
Ключевые слова: сетевой город, угрозы информационной безопасности, механизмы защиты, микроконтроллер Ардуино, RFID-модуль RC522.

«Сетевой город. Образование» – информационная система для организации общего информационного образовательного пространства в городе или районе. В настоящее время в данной программе участвуют те муниципальные учреждения, которые подключены к выделенным сетям связи с недорогим трафиком. Для выполнения задачи автоматизации контроля над образовательной структурой нужно продумывать решение не только для отдельных школ, но и для всех учебных учреждений. Это предполагает постепенную автоматизацию всех учебных заведений с формированием информационной среды для этих заведений и областных органов управления на основании согласованных информационных норм [1].

Анализ компонентов системы «Сетевой город. Образование» для выделения структуры системы «Безопасность школьников»

«Сетевой город. Образование» – комплексный информационный программный проект, позволяющий образовательным учреждениям и органам муниципального управления взаимодействовать между собой на уровне города или городского округа. Данная информационная система разработана для автоматизации учебного процесса и управленческой деятельности в сфере образования, также она позволяет сформировать общее образовательное пространство. Каждое учебное заведение не только исполняет требования, установленные органами Управления образования по сдаче отчётности, но и также получает все средства для создания и организации собственных учебных процессов и деятельности, связанной с руководящей работой.

Чтобы лучше понять состав системы, далее дано краткое описание трех наиболее востребованных в реальной практике модулей системы «Сетевой город. Образование».

Модуль «Движение»

Данный модуль в системе «Сетевой город. Образование» позволяет осуществлять переводы учащихся в пределах образовательной сферы. Создана согласованная область для переводов учащихся в пределах муниципального образования. Когда учащийся уходит из одной школы, это отображается в системе, и он автоматически становится доступным для принятия в другую школу того же муниципального образования. Личное дело учащегося также сохраняется.

Модуль «Конструктор отчётов»

К модулю «Конструктор отчётов» может обращаться Управление образования, которому должны отчитываться все образовательные учреждения этого муниципального образования. Управление образования контролирует различные компоненты образовательной деятельности (состав пользователей, успеваемость, факультативное образование и др.).

Модуль «Портал Управления образования»

Для получения или обмена информацией в образовательной сфере работает «Портал Управления образования», который предоставляет доступ в систему «Сетевой город. Образование» для взаимодействия пользователей по вопросам, касающимся образовательной области. Пользователи, которые прошли регистрацию на данном портале могут осуществлять различные действия, разрешенные в рамках их учетной записи [1].

Проанализировав состав системы «Сетевой город. Образование», сделан вывод, что для обеспечения безопасности школьников в муниципальном учреждении следует добавить несколько модулей, которые будут составлять подсистему безопасности системы «Сетевой город. Образование», а именно – «Безопасность школьников». Система «Безопасность школьников» основана на использовании смарт-карт в комплекте с микроконтроллером Arduino и считывателем RFID-модуль RC522.

Микроконтроллер Arduino является элементом питания для считывателя, а также обрабатывает полученные со считывателя данные. Достоинства Arduino в том, что он готов к использованию, много примеров исходного кода, большое сообщество, а также низкий порог вхождения.

Итак, рассмотрим, что включено в систему «Безопасность школьников»:

− КПП (вход/выход). Подсистема позволяет отслеживать посещаемость школы учеником.

− Столовая. Подсистема позволяет контролировать родителю меню ученика, а также пополнять баланс смарт-карты для осуществления покупок учеником.

− Медпункт. Подсистема позволяет обновлять данные медицинской карты конкретного ученика, а также взаимодействовать медицинским сотрудникам школы и других оздоровительных учреждений с помощью базы данных и смарт-карты (рис. 1).

Таким образом, была составлена подсистема безопасности «Безопасность школьников» для системы «Сетевой город. Образование».



Рис. 1. Система «Безопасность школьников»

Архитектура программно-аппаратного комплекса системы «Безопасность школьников»

Архитектура программы

Архитектура программы представляет собой клиент-серверную модель и включает в себя следующие модули, показанные на рис. 2.

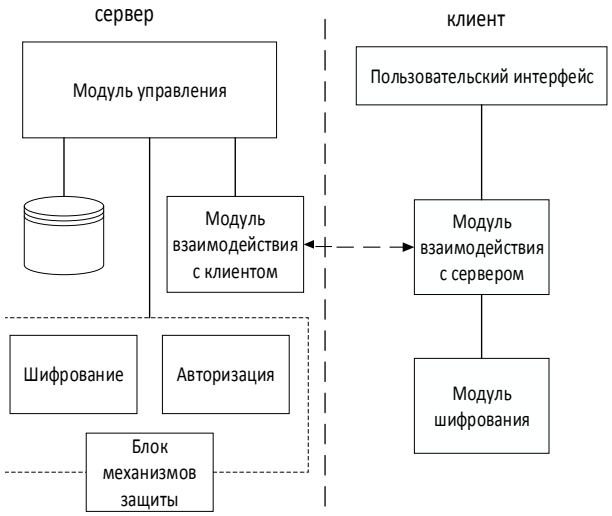


Рис. 2. Архитектура программного комплекса для системы «Безопасность школьников»

На стороне сервера:

1. Модуль управления. Предназначен для взаимодействия с сервером и управления сервером.

2. База данных для сохранения данных, циркулирующих в системе, а также введенных в приложения различных модулей.

3. Модуль взаимодействия с клиентом. Позволяет осуществлять ввод и отображение данных, а также осуществляет обмен ключами, шифрование, дешифрование, отправку и прием данных.

4. Блок механизмов защиты состоит из блоков, позволяющих осуществлять защиту передаваемых данных по сети:

– модуль шифрования позволяет зашифровывать отправляемые сервером данные перед отправкой пользователю;

– модуль авторизации позволяет распределить доступ пользователей к разным модулям системы. Реализован как окно, в котором пользователь должен ввести свой логин и пароль, чтоб войти в систему. Пароли в базе данных хранятся в виде хэш-суммы.

На стороне клиента:

– пользовательский интерфейс предназначен для взаимодействия с программой. Он отображает формы для ввода данных пользователем и отображения результатов работы;

– модуль взаимодействия с сервером. Осуществляет обмен ключами, шифрование, дешифрование, отправку и прием данных;

– модуль шифрования. Позволяет зашифровывать отправляемые пользователем данные перед отправкой на сервер.

Архитектура аппаратного комплекса

1. Модуль RFID-системы. В данном модуле осуществляется чтение смарт-карты ученика на разных считывателях (в зависимости от местонахождения ученика – КПП, столовая, медпункт). Далее данные передаются на микроконтроллер Arduino для их последующей обработки.

2. Данные с микроконтроллера передаются на компьютер, который с ним соединен.

3. Данные отправляются на сервер баз данных для их хранения и последующего обращения к ним (рис. 3).

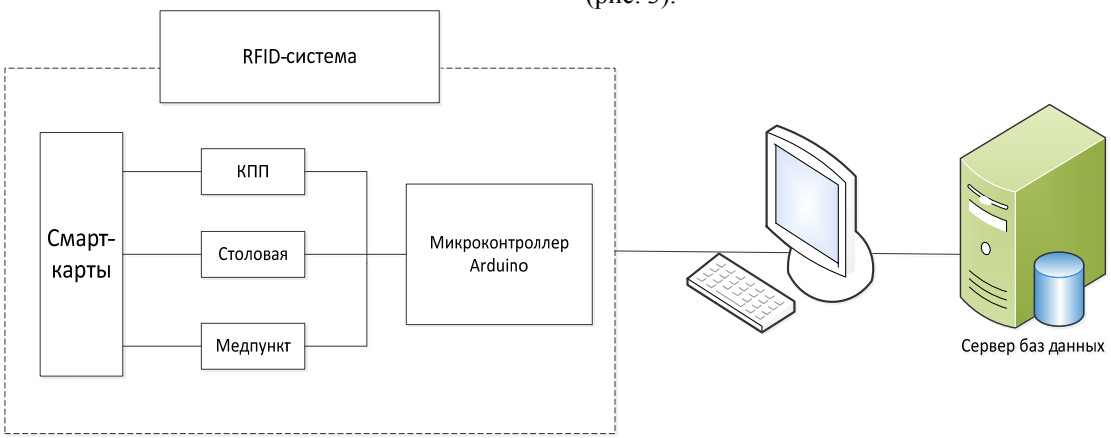


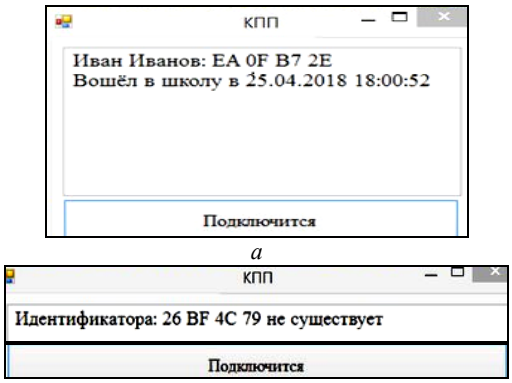
Рис. 3. Архитектура аппаратного обеспечения системы «Безопасность школьников»

Проведение экспериментальных исследований

Эксперимент 1 – работа системы «Безопасность школьников». Сначала ученик проходит в учреждение, проведя картой по считывателю в турникете (рис. 4).

Так как данный идентификатор существует в базе данных, то ученик сможет пройти в учреждение. Также может проводиться проверка на схожесть проходящего с предъявляемым идентификатором (смарт-картой) с помощью фото, которое вы-

свечивается на экране монитора охраны. Если предъявляемого идентификатора нет в базе данных, то высвечивается соответствующее сообщение (рис. 4, *б*).



а

б

Рис. 4. Пользовательский интерфейс

Далее рассмотрим работу приложения «Столовая». После того как ученик приложил карту, он может выбирать продукты и добавлять в заказ, нажимая кнопку «Добавить» или «Убрать», но если определенный продукт указан как запрещенный в модуле «Медпункт», то он не сможет совершить покупку, так как будет отображено сообщение о запрете. Также противопоказания ученика записываются родителем на основе данных из подсистемы «Медпункт». Для совершения покупки ученик нажимает кнопку «Оформить заказ» (рис. 5).

Приложение «Медпункт» доступно для редактирования только медицинским сотрудникам школы и других лечебных учреждений. Родители могут просматривать данную информацию для составления правильного меню в столовой.

Проведенные экспериментальные исследования разработанного программно-аппаратного комплекса позволяют наглядно убедиться в работоспособности системы «Безопасность школьников». Описанные модули позволяют сделать некоторые действия, связанные с работой школьного персонала, проще и удобнее при работе со смарт-картой. Также в системе используется комбинированное шифрование, которое предотвращает несанкционированный доступ к персональным данным ученика (данные о здоровье, фото и т.д.). Комбинированное шифрование позволяет в себе сочетать положительные свойства симметричного и асимметричного шифрования.

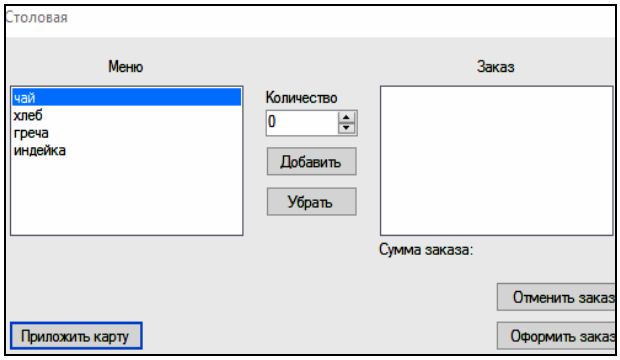


Рис. 5. Пользовательский интерфейс: совершение покупки «Оформить заказ»

Система является аналогом карты «Москвенок», которая предоставляет похожие сервисы для учеников Москвы. Но отличия представленной системы заключаются в том, что компоненты для нее стоят дешевле, а также что система предлагается для интеграции в систему «Сетевой город», которая используется во многих городах России.

Литература

1. Построение единой информационно-образовательной среды муниципального образования на основе системы «Сетевой город. Образование». – 2017.

Рыбина Ирина Сергеевна
Студентка Волгоградского гос. ун-та
Эл. почта: ISRybina@yandex.ru

Гужаковская Кристина Петровна
КАНД. физ.-мат. наук, доцент
каф. информационной безопасности Волгоград. гос. ун-та
Эл. почта: fiz1@mail.ru

УДК 519.85:519.816: 004.032.26

Т.Т. Зангиев, И.А. Корх, Е.А. Туркин

Автоматизация оптимального выбора средства защиты информации

Рассмотрены два метода, которыми можно руководствоваться при оптимальном выборе средств защиты информации: выбор средства защиты при исходных нечетких данных и выбор средства на основе недоминируемых альтернатив. Эти подходы рассмотрены в контексте дальнейшей автоматизации выбора. Актуальность проблемы обусловлена необходимостью малых организаций, не имеющих в штате квалифицированных специалистов по защите информации, осуществлять в соответствии с действующим законодательством РФ защиту персональных и иных данных, обрабатываемых ими для собственных целей. Новизна работы заключается в автоматизации выбора и применении данного подхода к выбору средств защиты.
Ключевые слова: теория принятия решений, критерии выбора, защита информации, информационная безопасность, оптимальный выбор, средства защиты информации.

При выборе наиболее оптимальной альтернативы нередко нужно учитывать большое количество входных данных, а также субъективные предпочтения лица, принимающего решение. В связи с этим выбор определенной альтернативы нередко становится сложной задачей.

Еще с XIX в. известен принцип Эджворта–Парето, применимый в случаях решения задач с четким отношением предпочтения субъекта выбора. В работе автора [1] дана математическая формулировка и обоснование этого принципа. Принцип Эджворта–Парето является основным при осуществлении выбора наилучших решений в областях техники и экономики в тех случаях, когда при выборе учитываются сразу несколько критериев. Однако данный метод не является универсальным. Его применение оправдано лишь при решении определенного класса задач. В случае если задача выходит за пределы этого класса, применение этого принципа является рискованным или вообще недопустимым [2].

Многие организации с невысоким доходом нередко представляют проблемным наличие высокооплачиваемого специалиста по информационной безопасности в штате. Вследствие этого выбор средств обеспечения информационной безопасности поручается лицу, не имеющему должного уровня компетенции, что влечет дополнительные риски по некорректному выбору средств защиты. Оптимальность выбора также снижается по причине того, что альтернативы в таких случаях рассматриваются не полностью.

Оптимальность выбора определяется совокупностью критериев, по которым производится оценка существующих альтернатив. Субъект выбора устанавливает критерии и их относительную значимость. Однако лицо, принимающее решение, не всегда обладает должным уровнем знаний в сфере выбора. В таких случаях к работе привлекаются эксперты, имеющие достаточную компетенцию в сфере выбора.

Оценки альтернатив, выставленные экспертами, и оценки значимости критериев имеют зачастую «нечеткую» природу. Учитывая это, стоит говорить о задаче оптимального выбора как о задаче, решаемой методами нечеткого математического программирования.

В данной работе сделана попытка автоматизации процесса выбора альтернатив методами нечеткого математического программирования с помощью разработанного программного модуля. В данном программном модуле реализовано два алгоритма многокритериального оптимального выбора с заданием совокупности критериев и с оценкой их относительной значимости. Программа производит оценку заданных альтернатив по каждому из критериев и выводит результат решения задачи оптимального выбора.

Описание алгоритмов, реализованных в модуле

Первый алгоритм. Пусть субъектом выбора задано множество критериев следующего вида: $C = \{C_1, C_2, C_3, C_4, C_5\}$, где C_1 – функционал; C_2 – надежность; C_3 – управляемость; C_4 – производительность; C_5 – стоимость.

Задаваемые критерии зависят от области применения программного продукта.

Каждому элементу множества критериев присваивается коэффициент относительной важности λ, такой чтобы сумма этих коэффициентов была равна единице. Данные коэффициенты определяются из субъективных предпочтений лица, производящего выбор. Пусть множество «весов» имеет следующий вид: $\lambda = \{\lambda_1 = 0{,}30,\ \lambda_2 = 0{,}25,\ \lambda_3 = 0{,}25,\ \lambda_4 = 0{,}10,\ \lambda_5 = 0{,}10\}$.

Так же задается множество альтернатив, предложенных для выбора, вида $X = \{x_1, x_2\}$.

Далее определяется функция принадлежности φ для каждого критерия. Значения этой функции стоит интерпретировать как «не хуже по критерию». Пусть для каждого критерия из заданного множества φ имеет вид

$$\varphi(x_i, x_j, C_1) = \begin{pmatrix} 1 & 0{,}4 \\ 0{,}95 & 1 \end{pmatrix}, \quad \varphi(x_i, x_j, C_2) = \begin{pmatrix} 1 & 0{,}9 \\ 0{,}5 & 1 \end{pmatrix},$$

$$\varphi(x_i, x_j, C_3) = \begin{pmatrix} 1 & 0{,}5 \\ 0{,}5 & 1 \end{pmatrix}, \quad \varphi(x_i, x_j, C_4) = \begin{pmatrix} 1 & 0{,}7 \\ 0{,}4 & 1 \end{pmatrix},$$

$$\varphi(x_i, x_j, C_5) = \begin{pmatrix} 1 & 0{,}9 \\ 0{,}2 & 1 \end{pmatrix},$$

где i и j – номера альтернатив.

Для осуществления обоснованого выбора следует помимо векторного критерия учитывать предпочтения лица, принимающего решения. С этой целью необходимо включить в многокритериальную задачу еще один элемент, который позволил бы выразить и описать эти предпочтения. Таким элементом является нечеткое отношение предпочтения ЛПР [3].

На основании данных формируется нечеткое отношение Q_1 по формуле

$$\varphi_{Q1}(x_i, x_j) = \min\{\varphi_1(x_i, x_j), ..., \varphi_m(x_i, x_j)\}. \quad (1)$$

На следующем этапе определяется нечеткое подмножество недоминируемых альтернатив во множестве (X, φ_{O1}) по следующей формуле

$$\varphi_{Q1}^{\text{НД}}(x) = 1 - \sup\{\mu_{Q1}(y, x) - \mu_{Q1}(x, y)\}. \quad (2)$$

Далее производится построение нечеткого отношения

$$\varphi_{Q2}(x, y) = \sum_{j=1}^{m} \lambda_i \varphi_j(x, y) \quad (3)$$

и определяется нечеткое подмножество недоминируемых альтернатив в множестве (X, φ_{O2})

$$\varphi_{Q2}^{\text{НД}}(x) = 1 - \sup\{\mu_{Q2}(y, x) - \mu_{Q2}(x, y)\}. \quad (4)$$

На заключительном этапе находится пересечение полученных множеств:

$$\varphi^{\text{НД}}(x) = \min\{\varphi_{Q1}^{\text{НД}}(x), \varphi_{Q2}^{\text{НД}}(x)\}. \quad (5)$$

Результирующее множество позволяет сделать оптимальный выбор из предложенных альтернатив.

Оптимальным будет считаться выбор альтернативы с максимальной степенью недоминируемости.

Следует заметить, что общая модель выбора с нечетким отношением предпочтения является более применимой на практике, чем модель с четким отношением. Это объясняется тем, что ЛПР не всегда может с абсолютной уверенностью определить, какое из двух данных решений предпочтительнее другого. Чаще всего человеку легче выразить степень предпочтительности каким-то числом из отрезка [0, 1] или в процентах в диапазоне от 0 до 100%, чем из двухэлементного множества {0; 1}, т.е. используя лишь два значения: 0 либо 100% [4].

Второй алгоритм. Данный алгоритм частично эквивалентен алгоритму, описанному выше, и может быть применен для решения аналогичных задач. Но применяемый в первом алгоритме набор коэффициентов относительной важности является более информативным. Поэтому если существует возможность описать относительную важность отношений предпочтения соответствующими коэффициентами, первый алгоритм является более подходящим. При отсутствии этой возможности стоит придерживаться метода, описанного далее.

Пусть производится выбор из множества альтернатив $X = \{x_1, x_2\}$. Также задано множество C, равное множеству критериев, описанному ранее.

Относительная ценность одного критерия над другим задана нечетким отношением предпочтения $\mu: C_i \times C_j$ и интерпретируется как «не менее важен».

Экспертные оценки определяются функцией принадлежности φ и интерпретируются как «не хуже по критерию».

Для каждого критерия определяется нечеткое подмножество недоминируемых альтернатив по формуле

$$\varphi^{НД}(x, C_i) = 1 - \sup\{\varphi(y, x, C_i) - \varphi(x, y, C_i)\}. \quad (6)$$

Далее определяется нечеткое отношение предпочтения η:

$$\eta(x_i, x_j) = \sup_{C_n, C_m \in C}(\min[\varphi^{НД}(x_i, C_n), \varphi^{НД}(x_j, C_m), \mu(C_n, C_m)]). \quad (7)$$

Стоит заметить, что η является сверткой функций φ в единое нечеткое отношение предпочтения с учетом приоритетности критериев [5].

Из η выделяется нечеткое подмножество недоминируемых альтернатив

$$\eta^{*НД}(x) = 1 - \sup\{\eta(y, x) - \eta(x, y)\},$$

где $y \in X$.

На следующем этапе $\eta^{*НД}$ корректируется

$$\eta^{НД}(x_i) = \min\{\eta^{*НД}(x_i), \eta(x_i, x_i)\}. \quad (8)$$

В результате оптимальным будет считаться выбор альтернативы из множества

$$X^{НД}\{x_i \mid x \in X,\ \eta^{НД}(x) = \max[\eta^{НД}(y)]\}, \quad (9)$$

где $y \in X$.

Описание приложения

Поскольку расчеты, производимые вручную, являются довольно сложными и затратными по времени, их применение на производстве не является целесообразным. Для решения задачи автоматизации был разработан модуль, способный производить решение задач выбора оптимальной альтернативы по алгоритмам, описанным ранее. Работоспособность данного программного продукта и его корректность были проверены на конкретных расчетах, при выборе средств криптографической защиты информации [6].

Данный модуль разработан на языке высокого уровня C#. Выбор обусловлен следующими причинами:

1. C# – обладает «гибкостью» благодаря большому количеству библиотек и шаблонов.
2. Встроенная среда для разработки приложений Windows Forms позволяет использовать уже готовые блоки и обработчики событий, что заметно упрощает задачу алгоритмизации и сокращает время на ее реализацию.
3. C# – объектно-ориентированный язык программирования, что отлично подходит для поставленной задачи. Этот факт позволяет рассматривать массивы функций предпочтений критериев как цельные объекты с заданными свойствами.
4. Приложения, созданные с использованием данного языка программирования, могут быть запущены на большинстве платформ.

Данный модуль универсален, что позволяет применять его для решения различных задач, касающихся выбора средств защиты в области информационной безопасности.

При запуске программы пользователь имеет возможность ввести необходимое количество альтернатив и количество критериев, по которым альтернативы будут избираться. Пользователь может так же задать наименование критериев и альтернатив. Главное окно программы представлено на рис. 1.

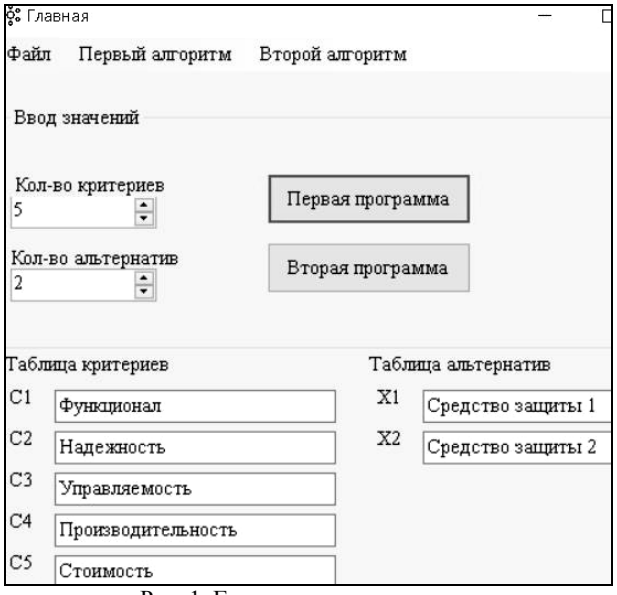


Рис. 1. Главное окно программы

После ввода первичных данных пользователю необходимо выбрать алгоритм, по которому будут

производиться вычисления. После выбора алгоритма для расчета необходимо ввести значения функций принадлежности критериев, при необходимости – их веса и матрицу нечетких отношений предпочтения. Также необходимо деактивировать критерии, которые не должны быть учтены в данном расчете. Пример настройки программы представлен на рис. 2.

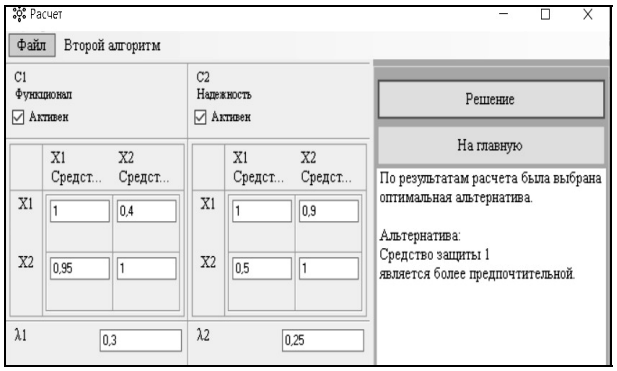


Рис. 2. Расчет по первому алгоритму

По результатам расчетов программа выведет результат – оптимальную альтернативу при заданных условиях. Пример результатов расчета по алгоритму 2 для средств криптографической защиты представлен на рис. 3.

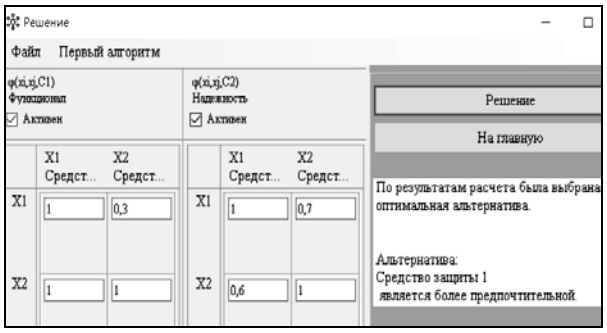


Рис. 3. Расчет по второму алгоритму

Для расчета по второму алгоритму необходима дополнительная таблица. Дополнительная таблица представлена на рис. 4.

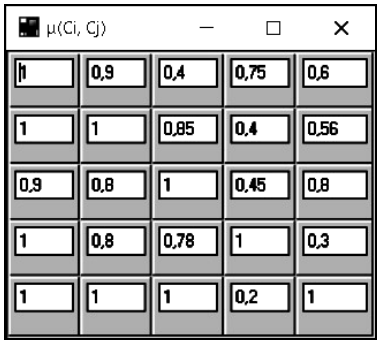


Рис. 4. Дополнительная таблица

В модуле предусмотрена функция сохранения произведенного расчета и загрузки уже сохраненных ранее результатов. Данные функции позволят проще производить повторные расчеты, особенно при большом количестве вводимых данных.

Выводы

Как и любая задача защиты информации, выбор оптимального средства обеспечения информационной безопасности имеет математическую основу. Разработанный модуль позволяет существенно упростить и ускорить решение задачи по выбору оптимальной альтернативы при нечеткой логике. Универсальность позволяет использовать его для разрешения различных задач, касающихся защиты информации. Все вышеперечисленное в совокупности позволяет, во-первых, минимизировать возможность ошибок при использовании указанных методов, во-вторых, существенно снизить затраты на реализацию проектов, предполагающих решение подобного типа задач.

Литература

1. Ногин В.Д. Принятие решений при многих критериях на основе нечеткой информации об относительной важности критериев // Математические методы распознавания образов. – 2007. – Т. 13, № 1. – С. 49–52.

2. Чураков Д.Ю., Царькова Е.Г. Метод принятия управленческих решений при нечетком отношении предпочтения, заданном на множестве альтернатив // Научные исследования: теоретико-методологические подходы и практические результаты: Междунар. науч.-практ. конф. – 2017. – С. 384–386.

3. Толмачёв С.Г. Принятие проектных решений на основе нечеткого отношения предпочтения // Информационно-управляющие системы. – 2014. – № 5(72). – С. 34–39.

4. Осипов Г.С. Многокритериальный выбор альтернатив на основе нечеткого отношения предпочтения // Сб. науч. статей студентов, магистрантов, аспирантов, молодых ученых и преподавателей «Развитие современной науки: теоретические и прикладные аспекты». – Пермь, 2016. – С. 24–28.

5. Крохалева А.Б. Математическое и программное обеспечение поддержки принятия решений в системе подготовки специалистов на примере направления «Информационная безопасность»: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Сиб. гос. ун-т телекоммуникаций и информатики. – Новосибирск, 2016.

6. Зангиев Т.Т., Корх И.А., Чернецова Т.В. Оптимальный выбор средства криптографической защиты при нечетких исходных данных // Матер. науч. конф. «Экстремальная комбинаторика и дискретная геометрия». Адыгейский гос. ун-т. – Майкоп, 2018 (в печати).

Зангиев Таймураз Таймуразович
Канд. техн. наук, доцент каф. компьютерных технологий и информационной безопасности (КТиИБ)
Кубанского гос. технологического ун-та (КубГТУ)
Эл. почта: tzang@mail.ru

Корх Ирина Анатольевна
Ассистент каф. КТиИБ КубГТУ
Эл. почта: aia2004@inbox.ru

Туркин Егор Алексеевич
Студент каф. КТиИБ КубГТУ
Эл. почта: wolfutur@mail.ru

УДК 004.934.2

Д.И. Новохрестова, Е.Ю. Костюченко

Алгоритм детектирования голосовой активности в программном комплексе по оценке разборчивости речи

Рассмотрены параметры, которые могут быть учтены в рамках построения алгоритма детектирования голосовой активности, их значения при записи с голосом и без голоса. Сделан вывод о возможности применимости каждого из параметров в алгоритмах детектирования голосовой активности.

Ключевые слова: параметры сигнала, сигнал, алгоритм детектирования голосовой активности.

При проведении исследований в области информационной безопасности существует ряд задач, связанных с анализом и обработкой речи. В качестве примера можно привести такие задачи, как установление личности диктора (например, при проведении аутентификации), определение языка диктора (при автоматизированной обработке речевого потока в рамках противодействия террористической деятельности), оценка разборчивости речи (например, для обеспечения защищенности речевой информации). Проблема оценки разборчивости интересна еще и тем, что может применяться в самом широком спектре решаемых задач. В частности, возможно применение разборчивости для получения оценок качества речи при проведении речевой реабилитации.

В рамках текущей версии программного обеспечения по автоматизированной оценке качества произнесения слогов в процессе речевой реабилитации пациентов после оперативного лечения онкологических заболеваний полости рта и ротоглотки возникает необходимость реализации алгоритма детектирования голосовой активности [1]. Алгоритм необходим для автоматизации переключения между слогами в процессе их записи. Вместо постоянных нажатий кнопок «Начать» и «Закончить запись», пациент, в идеале, нажимает на каждую из них только один раз. После нажатия кнопки начала записи запускается алгоритм детектирования голосовой активности (VAD). Данный алгоритм производит анализ записываемого потока информации, произносимой пациентом. Если пациент молчит, запись не производится, если же VAD улавливает акустическую активность, начинается запись аудиофайла. Когда уровень звука падает до уровня тишины, запись прекращается, записанный аудиофайл сохраняется, и на форме появляется новый слог, который необходимо произнести. Запись звука осуществляется при помощи сторонней библиотеки NAudio, которая была выбрана из-за прозрачности настройки обработчика записываемого потока данных, в который и был встроен алгоритм VAD. Алгоритм первой версии VAD в программе представлен на рис. 1.

Применяемые алгоритмы VAD и результат их работы

В общем случае алгоритм детектирования голосовой активности в составе обработчика звукового потока в рамках поставленной задачи можно представить как последовательность следующих шагов:

1. Создание файла для записи звука.
2. Считывание звука как потока данных в буфер.
3. Подсчет параметра(-ов) звука в буфере.
4. Сравнение полученных в п. 4 значений со значениями для тишины (является ли их разница больше порогового значения).
5. Вывод о наличии звука.

5.1. Если звук есть, то записать буфер в файл и сделать отметку о том, что голос был.

5.2. Если звука нет и отметки о наличии голоса нет, то перейти к п. 2.

5.3. Если звука нет и отметка о наличии голоса есть, то перейти к п. 6.

6. Завершение записи в файл. Переход к следующему слогу.

В предыдущих версиях программного комплекса было использовано два простейших алгоритма VAD. Различались они параметрами, подсчитываемыми в п. 3 вышеописанного алгоритма.

В первой версии алгоритма VAD подсчитывался только 1 параметр – интенсивность звукового потока. Значение параметра дли тишины и пороговое значение выставлялись вручную. Алгоритм не мог корректно детектировать наличие шипящих согласных, а также зачастую разделял на две записи слог, в котором в начале или середине имелась взрывная согласная.

Во второй версии – 2 параметра: мера спектральной плоскостности SMF (1) и энергия E:

$$\mathrm{SMF} = 10 \times \log_{10} \frac{G_m}{A_m}, \qquad (1)$$

где G_m – среднее геометрическое спектра речи, A_m – среднее арифметическое спектра речи.

Значения параметров для тишины подсчитывались на основе записи нескольких фрагментов без голоса. Для подсчета пороговых значений также требовалось записать несколько фрагментов с постоянным голосом. Пороговые значения подсчитывались как доля от разницы между значениями параметров для записей с голосом и без голоса – пороговый коэффициент. Для различных микрофонов оптимальный пороговый коэффициент разный – для более профессиональных микрофонов и большей чувствительностью экспериментально подобранный коэффициент составляет 0,25, для менее чувствительных микрофонов – 0,5. Вторая версия также имела недостатки: некорректно детектировались глухие шипящие согласные.

И в первой, и во второй версии алгоритма имелся еще один существенный недостаток – наличие требований к записывающей аппаратуре, а также к помещению и обстановке, где проходит запись. Любой громкий посторонний шум воспринимается алгоритмом как шум, и приходится вручную возвращаться на один или несколько слогов назад. Несмотря на то, что никаких проблем в программной реализации возможности возврата назад нет, однако здесь имеет место психологический фактор. Пациент и специалист-логопед отвлекаются.

Ввиду наличия недостатков используемых ранее версий, был поставлен вопрос о повышении точности алгоритма детектирования. Один из способов повышения точности – увеличение количества подсчитываемых параметров.

Параметры звука для алгоритма VAD

На основе анализа наиболее часто встречающихся параметров, на которых основаны различные алгоритмы VAD [2–7], были выбраны следующие параметры:

– энтропия энергии сигнала;

– краткосрочная энергия с тремя различными окнами подсчета: прямоугольное окно, окно Ханна, окно Хэмминга;

– краткосрочная доля пересечения нуля. Она дает информацию о количестве изменений знака функции (пересечений функцией оси *OX*). Если количество пересечений велико в каком-то сигнале – значит сигнал содержит высокочастотную информацию, и наоборот. Таким образом, краткосрочная доля пересечений нуля предоставляет информацию о частотном содержимом сигнала.

Краткое описание параметров, обозначения и формулы, по которым они вычисляются, представлены в табл. 1. Во всех формулах N – длительность фрейма (количество семплов); x – сигнал семпла.

В настоящем исследовании были выбраны только те параметры, которые могут быть подсчитаны без дополнительных преобразований сигнала.

Так как рассматривается вопрос только о принципиальной возможности применения данных параметров для решения поставленной задачи, рассмотрим только вопрос о различимости значений для записей без голоса и с голосом. Если значения будут отличаться, а множества значений, полученных для различных буферов, не будут пересекаться, то параметр можно будет включить в следующую версию алгоритма VAD.

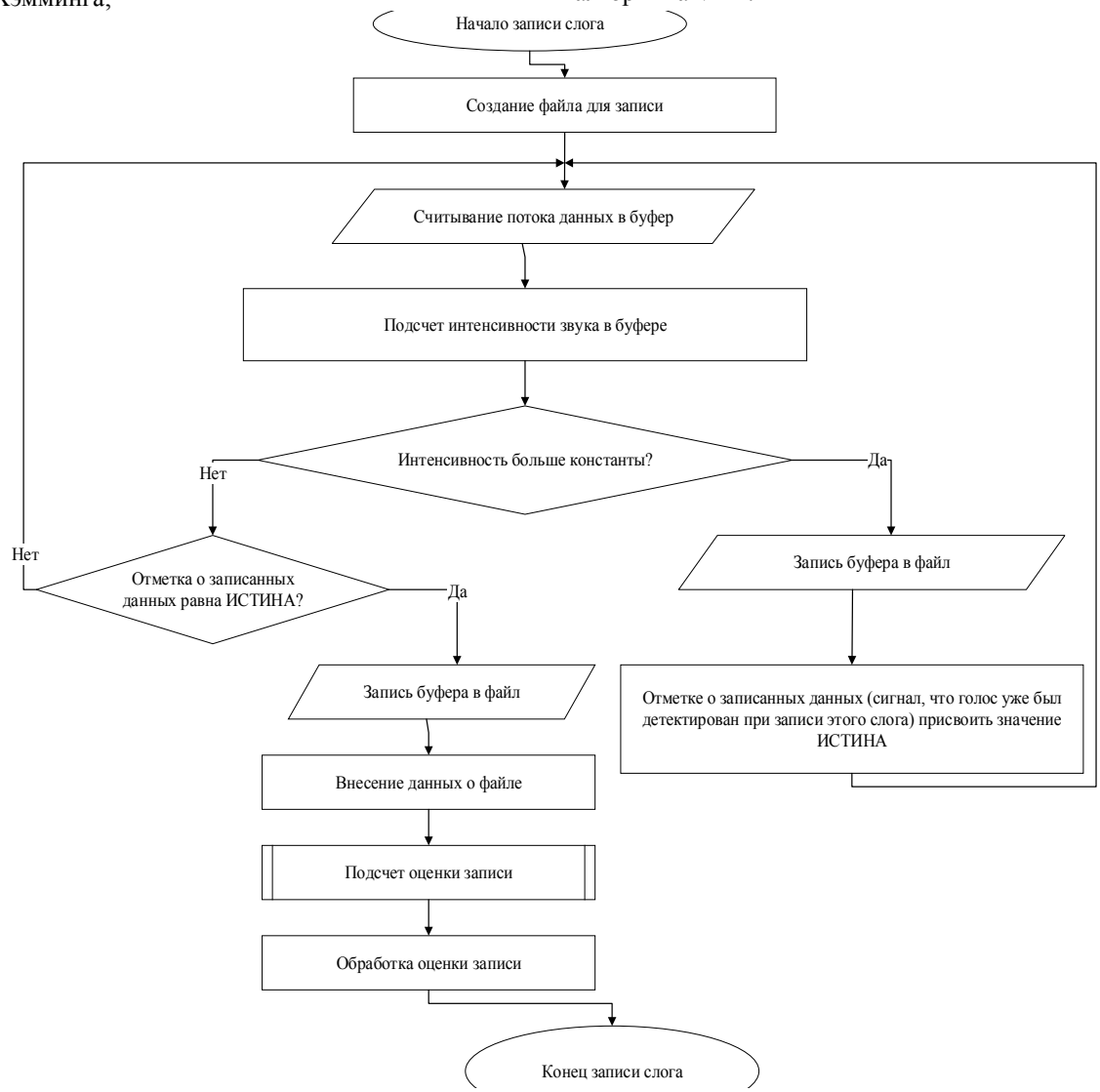


Рис. 1. Обработчик записи с использованием первой версии, простейший алгоритм VAD на одном параметре

Таблица 1

Возможные параметры

Параметр	Описание	Формула	
Ent	Энтропия энергии сигнала	$E_n = -\sum_{n=0}^{N} x_n \times \log_2(x_n)$	
Temp1	Краткосрочная энергия, прямоугольное окно	$E_T = \sum_{n=0}^{N} (x_n \times w(n-w))^2$	$w(n-w) = 1$
Temp2	Краткосрочная энергия, окно Ханна		$w(n-m) = 0{,}5 - 0{,}5 \times \cos(2\pi n/(N-1))$
Temp3	Краткосрочная энергия, окно Хемминга		$w(n-m) = 0{,}54 - 0{,}46 \times \cos(2\pi n/(N-1))$
ZCR	Краткосрочная доля пересечения нуля	$Z = \frac{1}{2N} \sum_{n=0}^{N} (x_n \times w(n-w))$	

Было произведено 20 записей с голосом и 20 без голоса. В рамках каждой записи были найдены средние значения параметров для каждого буфера. Десятичные логарифмы средних значений для всех 20 записей представлены в табл. 2. Параметр энтропии не вычислялся для записей с голосом, но для записей без голоса ввиду наличия амплитудных значений, равных 0. Для всех параметров краткосрочной энергии (Temp1, Temp2, Temp3) множества значений для тишины и для голоса не пересекаются, а сами значения для тишины и для голоса различаются значительно. Значения параметра ZCR для тишины и для голоса различаются незначительно, а множества значений пересекались в 17 из 20 записей.

Таблица 2

Значения параметров

Параметр	Значения (Log10)		
	Для тишины	Для голоса	Разница
Ent	–	–	–
Temp1	–4,911	–2,910	2,001
Temp2	–5,337	–3,316	2,021
Temp3	–5,312	–3,292	2,020
ZCR	–5,154	–5,135	0,019

Заключение

Одной из основных частей решения задачи по автоматизации записи слогов в процессе речевой реабилитации является разработка алгоритма детектирования голосовой активности. Предыдущие версии алгоритма, основанные на одном или двух параметрах, имеют недостатки, поэтому необходимо расширение списка параметров для повышения точности. На тестовых записях были подсчитаны выбранные параметры, из них в качестве параметров алгоритма детектирования голосовой активности можно использовать краткосрочную энергию с любым окном, так как значения для голоса и для тишины различны. Энтропию невозможно подсчитать из-за особенностей записи звука используемой библиотеки. Краткосрочная доля пересечений нуля для записей с голосом незначительно отличается от значений для тишины, использование этого параметра не имеет смысла в рамках построения алгоритма. Рассмотренные параметры предлагаются не вместо, а в дополнение к уже используемым в текущей версии программного обеспечения. Также в дальнейшем возможно рассмотреть иные параметры, для подсчета которых требуется преобразование сигнала, к примеру, применение преобразования Фурье и т.п.

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда, проект «Восстановление речевой функции с использованием технических методов и математического моделирования у больных раком полости рта и ротоглотки после хирургического лечения», № 1615-00038.

Литература

1. Костюченко Е.Ю. Программное обеспечение для объективной оценки качества произнесения слогов при речевой реабилитации / Е.Ю. Костюченко, Р.В. Мещеряков, Д.И. Новохрестова и др. // Всерос. науч. конф. по проблемам управления в технических системах – СПб.: Санкт-Петерб. гос. электротехнический ун-т (ЛЭТИ) им. В.И. Ульянова (Ленина). – 2017. – № 1. – С. 277–280.

2. Методы и алгоритмы детектирования активности речи [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.dspa.ru/articles/year2013/jour13_1/art13_1_10.pdf

3. Speaker and Noise Independent Voice Activity Detection [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://statweb.stanford.edu/~dlsun/papers/voice_activity_detection_full.pdf

4. VAD (Voice activity detector) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://celnet.ru/vad

5. Voice Activity Detection. Fundamentals and Speech Recognition System Robustness [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://cdn.intechopen.com/pdfs/104/InTech Voice_activity_detection_fundamentals_and_speech_recognition_system_robustness.pdf

6. Voice Activity Detection Method Based on Multivalued Coarsegraining Lempel-Ziv Complexity [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://elib.mi.sanu.ac.rs/files/journals/csis/19/080316.pdf

7. Voice Activity Detector (VAD) Algorithm User's Guide [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.ti.com/lit/ug/spru635/spru635.pdf

Новохрестова Дарья Игоревна
Преп. каф. БИС ТУСУРа
Эл. почта: ndi@fb.tusur.ru

Костюченко Евгений Юрьевич
Доцент каф. КИБЭВС ТУСУРа
Эл. почта: key@keva.tusur.ru

Секция 15

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В УПРАВЛЕНИИ И ПРИНЯТИИ РЕШЕНИЙ

*Председатель секции – **Сенченко Павел Васильевич,** канд. техн. наук, проректор по учебной работе, доцент каф. АОИ*

УДК 519.767.6

Е.И. Грибков, Ю.П. Ехлаков

Модель обработки запросов пользователей на этапе эксплуатации и сопровождения программного продукта

Сопровождение является самым длительным этапом жизненного цикла программного продукта. Основной задачей на этом этапе являются сбор, обработка и реагирование на обращения пользователей. В работе предлагается модель на основе методов машинного обучения для автоматизации извлечения из текстов обращений, информативных высказываний о программных ошибках, запросах на новую функциональность, позитивных и отрицательных комментариев о функционировании программного продукта. Точность предложенной модели проверена на корпусе обращений из магазина приложений Google Play.

Ключевые слова: обработка естественного языка, сопровождение программного обеспечения, машинное обучение.

Конкурентоспособность рыночного программного продукта во многом зависит от качества и своевременности реагирования ИТ-компании на запросы конечных пользователей по проблемам, связанным с некачественной работой программных продуктов (ПП), ошибками в технической документации, недостаточной квалификацией конечных пользователей и т.д. Оперативное решение этих проблем пользователей осуществляется на этапе эксплуатации и сопровождения программного продукта [1]. По данным [2], на эти этапы приходится 67% времени жизненного цикла ПП.

Для обработки запросов пользователей и реагирования на них в ИТ-компаниях создаются службы технической поддержки пользователей. При росте количества пользователей остро встает проблема масштабируемости поддержки и увеличения финансовых затрат на содержание непрофильных структур. Следует отметить, что современные системы автоматизации работы службы поддержки (helpdesk-системамы) имеют достаточно развитый функционал, однако основная часть работы по анализу текста обращения пользователя и назначению специалистов по-прежнему лежит на человеке.

Основными каналами общения службы поддержки с конечными пользователями долгое время являлись телефон, электронная почта и веб-сайты технической поддержки. В настоящее время кроме этих каналов для оказание технической поддержки используются социальные сети и мессенджеры. В основном запросы конечных пользователей представлены в неструктурированной текстовой форме.

Кроме обработки «явных» обращений пользователей, связанных с функционалом ПП, большой интерес для компаний могут представлять «неявные» обращения, высказываемые пользователями в каналах, которые редко являются объектами внимания службы поддержки: форумы, блоги и социальные сети за пределами созданных разработчиками ПП групп и сообществ. «Неявные» обращения, выражаемые в виде текстов мнений или отзывов, могут быть настолько же полезными для разработчика ПП, как и явные, и вместе с тем намного более многочисленными. Так как ручной анализ большого объема текстовой информации затруднителен, данный пласт информации либо обрабатывается не систематично, либо не обрабатывается вовсе.

Эти проблемы могут быть решены путем извлечения из текстов запросов пользователей наиболее распространенных типов информативных фраз (ИФ) с целью их последующего объединения в репрезентативные группы (кластеры) с целью концентрации усилий разработчиков на наиболее часто встречающиеся запросы. В работе предлагается выделить следующие типы информативных фраз: 1) программная ошибка; 2) запрос на новый функционал; 3) положительная оценка функции; 4) отрицательная оценка функции. На основе анализа материалов отзывов из магазина приложений Google Play Marker приведем примеры ИФ (авторская орфография и пунктуация сохранены):

Программная ошибка: плеер не отображается на экране блокировки; плейлист не обновляется при свейпе вниз.

Запрос на новый функционал: добавить кнопку проигрывания в перемешку; «иметь возможность редактировать теги.

Положительная оценка функции: много возможностей для манипуляций над звуком; отменить прием – быстро.

Отрицательная оценка функции: не хранится архив записей; дублирует функционал приложения госуслуги.

Приведенные примеры позволяют говорить о том, что запрос состоит из одного или нескольких объектов интереса пользователя (название программы, её функции, элементы интерфейса) и высказываний, описывающих отношение пользователя к ним. Далее по тексту будем называть эти сущности соответственно «объекты» и «описания», а связанную пару из объекта и описания – «информативной фразой». В данной работе рассматривается первый этап решения задачи – извлечение информативных фраз.

Пусть текст запроса пользователя задан в виде последовательности слов $\mathbf{w} = w_1,\ldots,w_2$. Необходимо определить множество информативных фраз (ИФ). Формально ИФ будем называть тройку (o, d, a), где o – объект, d – описание, a – тип ИФ. Объект и описания в тексте определены как фрагменты (непрерывные последовательности слов): $o = (w_i,\ldots,w_j)$, $d = (w_p,\ldots,w_q)$. Информация о типе ИФ содержится в метке, назначаемой фрагменту описания. Структура ИФ представлена на рис. 1.



Рис. 1. Пример структуры информационной фразы

Для извлечения ИФ из текстов запросов пользователей в данной работе предлагается использовать оригинальную нейросетевую модель на основе системы переходов. Использование данного типа модели предполагает задание абстрактного автомата, который обрабатывает входной текст и получает на выходе множество ИФ. Состояние абстрактного автомата определятся конфигурацией C, которая изменяется при исполнении автоматом переходов (transitions). Начальная конфигурация C_0 задается на основе входного текста, и после исполнения конечной последовательности переходов $\mathbf{y} = y_1,\ldots,y_T$, $y_t \in Y$ автомат достигает конечной конфигурации C_T, которая содержит ИФ из анализируемого текста. Выбор очередного перехода на шаге t осуществляется вероятностным классификатором на основе текущей конфигурации C_t:

$$\hat{y}_t = \arg\max_{y \in Y} P(y \mid C_t) . \qquad (1)$$

В нашем случае конфигурация задана кортежем (B, S, L, H). Список B содержит слова исходного текста. Стек S содержит объекты и описания в порядке их обнаружения в тексте. В ходе предсказания сущности из нескольких слов формируются инкрементально, поэтому в сущность на вершине стека допускается добавлять новые слова. Стек L содержит связи между элементами стека S. Список H хранит историю совершенных переходов, которая привела к текущей конфигурации C_t.

Опишем состав множества доступных переходов Y. SHIFT отбрасывает из B первый элемент. START(e) создает новую сущность типа e, помещает её на вершину стека S и перемещает слово из начала списка B в созданную сущность. ADD перемещает элемент из начала списка B в сущность, находящуюся на вершине стека S. LINK(n_1, n_2) связывает элементы стека S на позициях n_1 и n_2, образованная связь помещается в конец списка L. Такой способ задания множества Y ограничивает максимальную глубину, на которой можно образовать связь между элементами S, в данной работе мы ограничились 5 последними элементами S.

Условное распределение вероятности по возможным переходам из выражения (1) задается классификатором следующего вида:

$$P(y = \hat{y} \mid C_t) = \mathrm{softmax}_{\hat{y}}(\mathbf{W} \cdot \varphi(C_t) + \mathbf{b}) , \qquad (2)$$

где $\mathbf{W}$, $\mathbf{b}$ – параметры классификатора, $\varphi(C_t)$ – вектор признаков, описывающий текущую конфигурацию.

Вектор признаков $\varphi(C_t)$ формируется путем конкатенации векторов описаний отдельных элементов конфигурации:

$$\varphi(C) = [\varphi(B); \varphi(S); \varphi(H)] . \qquad (3)$$

Основой для формирования признаков служат контекстные векторы для исходного текста, получаемые с помощью двунаправленной GRU сети [3]:

$$\varphi(B_1),\ldots,\varphi(B_n) = \mathrm{BiGRU}(E(w_1),\ldots,E(w_n)) , \qquad (4)$$

где E – функция, отображающая слова в векторные представления. Вектор $\varphi(B)$ образован конкатенацией признаков первых трех элементов B: $\varphi(B) = [\varphi(B_1); \varphi(B_2), \varphi(B_3)]$. Для вектора $\varphi(S)$ сначала рассчитываются признаки для первых 5 элементов S по следующей формуле:

$$\varphi(S_i) = [\frac{1}{e(i) - b(i)} \sum_{j=e(i)}^{b(i)} \varphi(B_j); E(type(i))] , \qquad (5)$$

где $b(i)$ и $e(i)$ – начальный и конечный индексы фрагмента текста для i-й сущности ИФ, $E(\mathrm{type}(i))$ – векторное представление типа фрагмента. Затем полученные признаки конкатенируются, образуя вектор для $\varphi(S)$:

$$\varphi(S) = [\varphi(S_1);\ldots;\varphi(S_5)] . \qquad (6)$$

Для задания признаков истории переходов H в момент времени t используется скрытое состояние последнего шага сети LSTM [4]

$$\varphi(H) = \mathrm{LSTM}(E(H_1),\ldots,E(H_t))_t . \qquad (7)$$

Обучение модели осуществляется путем максимизации правдоподобия предсказанных последовательностей переходов в сравнении с истинными последовательностями из обучающей выборки. Функцией ошибки служит перекрестная энтропия

(cross entropy) между предсказанным распределением по возможным действиям и истинным действием:

$$L(\hat{\mathbf{y}},\mathbf{y})=\sum_{t}-\sum_{i\in Y}\log[P(\hat{\mathbf{y}}_t\,|\,C_t)]_i[\mathbf{y}_t]_i\ . \qquad (8)$$

Для оптимизации множества параметров модели θ, включающего параметры классификатора, сетей BiGRU и LSTM и векторных представлений $E(H)$ и $E(\text{type}(i))$, может использоваться любой алгоритм градиентной оптимизации.

Для валидации предложенной модели на основе материалов магазина приложений Google Paly Market был подготовлен корпус обращений пользователей. Корпус состоит из текстов обращений из пяти категорий мобильных приложений: «Автомобили и транспорт», «Карты и навигация», «Медицина», «Музыка и аудио», «Персонализация». В каждой категории было выбрано пять приложений и для каждого приложения случайным образом выбрано 20 обращений. Каждое обращение, в свою очередь, разделялось на отдельные предложения.

Критериям качества извлечения ИФ является F-мера, рассчитываемая отдельно для каждого вида фрагментов ИФ и связей между ними. Так как определение точных границ фрагментов является сложной задачей даже для человека, F-мера для них рассчитывалась по методике, предложенной в [5]. Она позволяет учитывать частичные совпадения фраз и, по мнению авторов, позволяет получить более адекватную оценку.

При оценке моделей использовалась процедура кроссвалидации, при которой исходный корпус был разделен на пять блоков, соответствующих категориям приложений. На каждом этапе процедуры один блок используется в качестве тестового набора, объединение оставшихся – обучающего. Полученный набор оценок затем усредняется.

При обучении модели использовались следующие размерности векторных представлений: скрытый слой BiGRU – 100, скрытый слой LSTM – 20, представление $E(H_t)$ – 20, $E(\text{type}(i))$ – 20. Векторные представления слов строятся на основе предварительно обученной модели fastText [6] для русского языка размерностью 300. Оптимизация параметров модели осуществляется методом Adam со скоростью обучения $5e^{-4}$. Для предотвращения переобучения используются техники регуляризации: дропаут (dropout) 20%, регуляризация L2 нормы весов на уровне $1{,}2e^{-6}$. В качестве альтернативы для сравнения использовалась гибридная модель на основе рекуррентной и свёрточной сетей из [7].

Детализация результатов обучения модели приведена в таблице, где число в скобках означает точность альтернативной модели, а жирным выделен лучший результат. Средняя точность извлечения фрагментов для предложенной модели составила 0,60, точность обнаружения связей между фрагментами – 0,55. Из представленных результатов можно сделать вывод, что предложенная модель несколько уступает альтернативной в точности определения фраз – разница в средней точности составляет около 1 п.п. Однако связи между фразами модель обнаруживает значительно точнее – улучшение составляет 14 п.п. F1. Так как итоговый качество извлечения ИФ во многом определяется именно правильной связью между фразами, можно говорить о том, что предлагаемая модель превосходит по общему качеству альтернативную.

Сравнение качества моделей (F-мера)

Категория	Объект	Полож. оценка	Отриц. оценка	Ошибка	Запрос функц.	Связь
Авто и транспорт	0,65(**0,68**)	**0,60**(0,57)	**0,69**(0,66)	0,60(**0,62**)	0,50(**0,52**)	**0,57**(0,42)
Персонализация	**0,68**(0,67)	0,57(**0,61**)	**0,65**(0,64)	0,57(**0,60**)	**0,65**(0,57)	**0,53**(0,39)
Музыка и аудио	0,64(**0,68**)	0,56(**0,67**)	0,50(**0,57**)	**0,59**(0,49)	0,73(0,73)	**0,52**(0,40)
Карты и навигац.	0,63(**0,68**)	0,49(**0,55**)	0,51(**0,54**)	0,70(0,7)	**0,44**(0,37)	**0,55**(0,42)
Медицина	0,64(**0,69**)	0,58(**0,61**)	0,58(**0,64**)	0,59(**0,61**)	**0,61**(0,60)	**0,56**(0,42)
Сред.	0,65(**0,68**)	0,56(**0,60**)	0,59(**0,61**)	**0,61**(0,60)	**0,59**(0,56)	**0,55**(0,41)

В дальнейшем авторы планируют увеличить объем корпуса обращений, что должно привести к улучшению точности распознавания фрагментов ИФ, и исследовать возможность использования признаков уровня предложения. Кроме того, планируется разработать метод группировки извлеченных ИФ в кластеры.

Литература

1. Schach S.R. Object-Oriented and Classical Software Engineering. – N.Y.: McGraw-Hill Education, 2011. – 688 p.

2. ГОСТ Р ИСО/МЭК 12207–2010. Информационная технология. Системная и программная инженерия. Процессы жизненного цикла программных средств. – М.: Стандартинформ, 2011. – 105 с.

3. On the Properties of Neural Machine Translation: Encoder-Decoder Approaches / K. Cho, B. van Merrienboer, D. Bahdanau, Y. Bengio // Proceedings of the 8th Workshop on Syntax, Semantics and Structure in Statistical Translation. – Stroudsburg, PA: ACL, 2014. – P. 103–111.

4. Hochreiter S. Long short-term memory /, S. Hochreiter, J. Schmidhuber // Neural Computation. – 1997. – Vol. 9, No. 8. – P. 1735–1780.

5. Johansson R. Syntactic and semantic structure for opinion expression detection / R. Johansson, A. Moschitti // 14th Conference on Computational Natural Language Learning Proceedings. – Stroudsburg, PA: ACL, 2010. – P. 67–76.

6. Learning Word Vectors for 157 Languages / E. Grave, P. Bojanowski, P. Gupta, A. Joulin, T. Mikolov // Proceedings of the 11th International Conference on Language Resources and Evaluation (LREC 2018). – Paris: European Language Resources Association, 2018. – P. 3483–3487.

7. Jebbara S. Aspect-Based Relational Sentiment Analysis Using a Stacked Neural Network Architecture / S. Jebbara, P. Cimiano // Proceeding of the 22nd European Conference on Artificial Intelligence. – Amsterdam: IOS Press, 2016. – P. 1123–1131.

Грибков Егор Игоревич
Аспирант каф. АОИ ТУСУРа
Эл. почта: drnemor@gmail.com

Ехлаков Юрий Поликарпович
Д-р техн. наук, профессор каф. АОИ ТУСУРа
Эл почта: upe@tusur.ru

УДК 004.89

М.И. Васильева, А.В. Куртукова, А.С. Романов, А.М. Федотова

Разработка системы тонального анализа текста с использованием ансамбля классификаторов

Представлено несколько методик для определения тональности текста на основе ансамбля классификаторов, в который включены сверточная нейронная сеть, двунаправленная сеть с долгой краткосрочной памятью и их гибрид, а также рассмотрены отдельные классификаторы с механизмом внимания: двунаправленная сеть с долгой краткосрочной памятью и двунаправленная сеть с управляемыми рекуррентными блоками для сравнения с ансамблем. Точность ансамбля классификаторов составила 92,2%. Из отдельно рассмотренных классификаторов лучше справилась с задачей двунаправленная сеть с долгой краткосрочной памятью с механизмом внимания – 90,4%.

Ключевые слова: тональный анализ, ансамбль, мажоритарное голосование, кроссвалидация.

Рост числа пользователей на различных социальных платформах привел к увеличению пользовательского контента, в том числе мнений об услугах, продуктах или событиях. Анализ тональности отзывов становится особенно актуальной задачей, целью которой является классификация мнений, выраженных в тексте.

В статье [1] представлено три различных алгоритма машинного обучения: наивный Байесовский классификатор, логистическая регрессия и метод опорных векторов. Обучение и тестирование проводились на отзывах к фильмам (39 тыс. отзывов). Определение тональности происходило путем мажоритарного голосования всех классификаторов. Точность такого подхода составила 89,3%.

Работа [2] основана на использовании в ансамбле двунаправленной долгой краткосрочной памяти (Bi-LSTM) и сверточной нейронной сети (CNN). Первая использовалась для захвата временной информации, вторая – для извлечения локальной структуры. На данных IMDB (50 тыс. отзывов) была получена точность 90%, на данных SST2 (16 тыс.) – 80,5%. По отдельности данные нейронные сети (НС) показали точность 89 и 80% соответственно.

В статье [3] был применен механизм внимания [4] в связке с Bi-LSTM, чтобы преодолеть недостаток простой сети с долгой краткосрочной памятью (LSTM), позволив механизму внимания сосредоточиться на сегментах предложения, где релевантность определяется вкладом в задачу. Корпус состоял из отзывов на английском языке. Только 28 из 3216 предложений были классифицированы неправильно. Авторы объясняют это тем, что некоторые из предложений могут состоять одновременно из положительных и отрицательных слов. Точность модели в данной работе составила 99%.

В работе [5] использовались CNN, LSTM, Bi-LSTM с механизмом внимания и развертывающая НС (DNN), которая осуществляла построение иерархических представлений данных с учетом фильтров и параметров, полученных при обучении CNN. Оценкой качества методов были точность, полнота и F-мера для каждой категории тональности (позитивная, негативная и нейтральная). Лучший показатель F-меры продемонстрировали сети CNN – 85,3% и Bi-LSTM с механизмом внимания – 87,8% на нейтральных отзывах.

Исходные данные

Для проведения экспериментов был собран корпус отзывов о товарах с социальной платформы «Яндекс.Маркет». Отзыв включает в себя мнение пользователя о товаре и оценку. Положительными являются отзывы с оценкой 4 и 5 (115224 отзыва), отрицательными – 2 и 1 (16591 отзыв).

Исходные данные проходили этап предобработки текста: перевод всех слов в нижний регистр, удаление всех ссылок и стоп-слов. После этого каждое предложение разбивалось на слова с помощью функции токенизации текста. Для преобразования текста в числовые тензоры в каждую модель был включен слой Embedding.

При построении предсказательных моделей исходные данные разбивались на обучающую и тестовую выборки в отношении 7:3.

Сверточная нейронная сеть

CNN – самая популярная модель НС, используемая в области компьютерного зрения. Впервые была упомянута в статье [6]. Однако в недавних экспериментах эта сеть показала себя хорошо и в решении задач классификации текстовых сообщений [5].

Преимущество данной сети заключается в том, что малое количество параметров значительно сокращает время, необходимое для обучения модели. Для получения результата совершается операция свертки, которая определяется как сумма произведений элементов фильтра и матрицы входных сигналов. Точность модели CNN составила 85%.

Двунаправленная сеть с долгой краткосрочной памятью

Bi-LSTM является видом рекуррентной НС (RNN). Уникальность такой НС обусловлена тем, что это первый алгоритм, запоминающий промежуточные состояния с помощью внутренней памяти.

Наибольшее распространение в решении задач классификации и прогнозирования получила RNN сеть со слоями LSTM или Bi-LSTM. Однако при определении тональности отзывов всё чаще предпочтение отдается Bi-LSTM. В отличие от обычной

LSTM в Bi-LSTM соединяются два скрытых слоя противоположных направлений к одному выходу. При такой форме глубокого обучения выходной слой может получать информацию из прошлого и будущего состояний одновременно, в этом и заключается основная особенность данного типа сети и его результативность. Точность Bi-LSTM составила 91,2%.

Гибрид сверточной нейронной сети и двунаправленной сети с долгой краткосрочной памятью

Ранее рассмотренные модели было решено объединить в гибридную НС, так как данный метод зачастую показывает результат лучше, нежели использование моделей по отдельности.

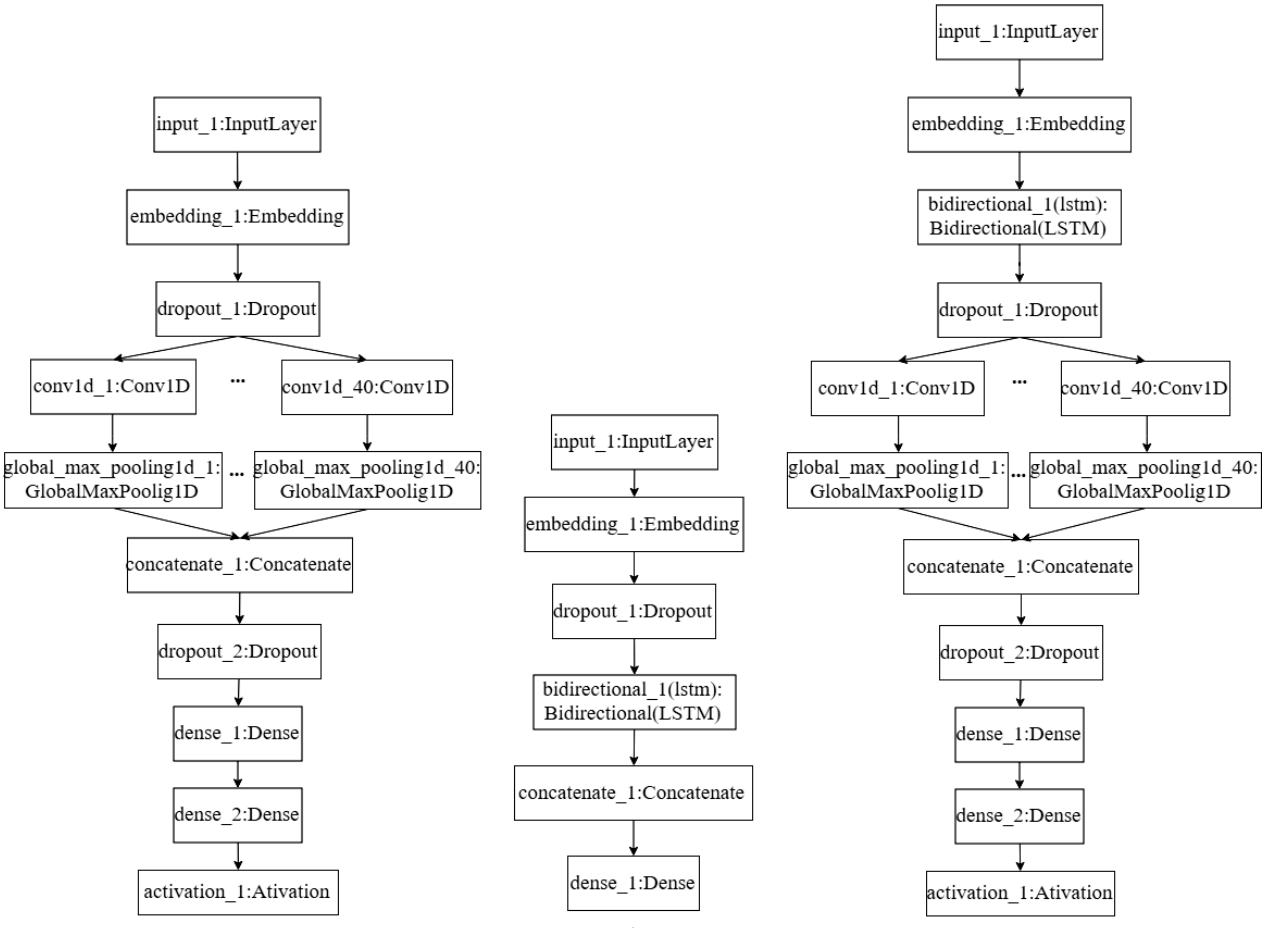
CNN может извлекать локальную информацию, но не чувствительна к контекстной, Bi-LSTM, напротив, реагирует на контекстные зависимости, что способствует повышению эффективности классификации, но при этом время обучения возрастает.

Точность такой модели составила 87%, что меньше, чем в отдельно взятой Bi-LSTM, однако больше, чем в рассмотренной ранее CNN.

Двунаправленная сеть с долгой краткосрочной памятью с механизмом внимания

Механизм внимания (attention) – это подход в машинном обучении, при котором часть входных данных, в данном случае фрагменты текста, обрабатывается более детально.

Attention сообщает НС, на чем нужно заострить внимание, т.е. говорит о вероятности того или иного исхода в зависимости от входных данных и состояния нейронов. Механизм внимания сам выявляет на основе обучающей выборки факторы, обращение внимания на которые снизит ошибку сети. Точность данного метода составила 90,4%.



а *б* *в*

Рис. 1. Архитектура CNN – *а*. Архитектура Bi-LSTM – *б*. Архитектура CNN+Bi-LSTM – *в*

Двунаправленная сеть с управляемыми рекуррентными блоками с механизмом внимания

В 2014 г. Kyunghyun Cho представил новый тип RNN – сеть с управляемым рекуррентным блоком (GRU) [8]. Эта сеть была создана, чтобы решить проблему исчезающего градиента. GRU рассматривается как тип LSTM, так как обе сконструированы одинаково и в большинстве случаях дают одинаково значимые результаты.

Чтобы решить проблему исчезающего градиента, GRU использует фильтры обновления и сброса состояния. Фильтр обновлений отвечает за удаление ненужной информации и добавление новой. Фильтр сброса отвечает за информацию, поступившую ранее, которую нужно забыть.

Особенность фильтров заключается в том, что их можно научить хранить полезную информацию долгое время и удалять ту, которая не является информативной.

GRU также подразделяется на простую GRU и Bi-GRU. Последняя показала себя лучше, поэтому было принято решение реализовывать именно её. Точность разработанной НС составила 89%.

Ансамбль классификаторов

В математической статистике на интуитивном уровне понятна идея о том, что усреднённый результат наблюдений зачастую может дать более достоверную и надёжную оценку, поскольку происходит ослабление влияния случайных флуктуаций в конкретном измерении. На этой идее и был основан метод ансамблей, который на сегодняшний день является мощным методом машинного обучения, нередко превосходящим по точности предсказания единичного классификатора.

Ансамбль классификаторов работает по принципу мажоритарного голосования, то есть избранным считается тот вариант ответа, за который проголосовало больше всего классификаторов. Так как в ансамбле используется нечетное количество классификаторов, всегда будет избран один-единственный вариант. Таким образом, получается, что абсолютное большинство решает, какой тональности будет отзыв.

В ансамбль были включены следующие архитектуры: CNN, Bi-LSTM, CNN+Bi-LSTM. После того, как все модели были объединены, точность данного метода составила 92,2% на тестовой выборке, что превысило лучшую из точностей (Bi-LSTM) на 1,8%. На рис. 1 представлены архитектуры, используемые в ансамбле классификаторов.

Анализ результатов

В таблице представлены точности, количество эпох и время, затраченное на обучение каждой модели. Исходя из таблицы, время, затраченное на обучение Bi-LSTM с механизмом внимания, в разы превосходит время обучения других моделей, так как данный вид НС имеет больше всего параметров.

На основе результатов можно сделать вывод, что ансамбль классификаторов является более точным в сравнении с Bi-LSTM с механизмом внимания, однако эти методы можно рассматривать как независимые методы решения задач классификации.

Сводка результатов обучения моделей

Нейронные сети	Оценка параметров обучения		
	Точность, %	Количество эпох	Время, мин
CNN	85	16	2208
Bi-LSTM	91,2	4	1356
CNN+Bi-LSTM	87	19	3059
Bi-LSTM с механизмом внимания	90,4	41	6724
Bi-GRU с механизмом внимания	89	36	2520
Ансамбль (CNN, Bi-LSTM, CNN+Bi-LSTM)	92,2	–	–

Заключение

В данной статье было рассмотрено несколько методик определения тональности русскоязычного текста, лучше всего себя показал ансамбль классификаторов, точность которого составила 92,2%. Из классификаторов, не вошедших в ансамбль, лучший результат показала сеть Bi-LSTM с механизмом внимания, точность которой 90,4%. На основе результатов оценки и сравнения методов можно сделать вывод, что данные алгоритмы можно применять для разметки документов, но нельзя полагаться на них всецело.

Литература

1. Hande K. Sentiment Analysis using Ensemble Classifier [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.ijircce.com/upload/2017/september/48_V50909664.pdf, свободный (дата обращения: 12.09.2019).

2. Minaee S., Azimi E., Abdolrashidi A. Deep-Sentiment: Sentiment Analysis Using Ensemble of CNN and Bi-LSTM Models [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://arxiv.org/pdf/1904.04206.pdf, свободный (дата обращения: 12.09.2019).

3. Kim K. Sentiment Analysis via Self-Attention with MXNet Gluon [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://medium.com/apache-mxnet/sentiment-analysis-via-self-attention-with-mxnet-gluon-dc774d38ba69, свободный (дата обращения: 12.09.2019).

4. Lin Z., Feng M., Xiang B., Zhou B. A STRUCTURED SELF-ATTENTIVE SENTENCE EMBEDDING [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://arxiv.org/abs/1703.03130, свободный (дата обращения: 05.07.2019).

5. Pan D., Yuan J., Li L. Deming Sheng Deep neural network-based classification model for Sentiment Analysis [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://arxiv.org/abs/1907.02046, свободный (дата обращения: 12.09.2019).

6. Lecun Y. Gradient-Based Learning Applied to Document Recognition // Proceedings of the IEEE. – 1998. – №86(11). – С. 2278–2324.

7. Cho K., Bahdanau D., Bougares F., Bengio Y. Learning Phrase Representations using RNN Encoder–Decoder for Statistical Machine Translation [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://arxiv.org/abs/1406.1078, свободный (дата обращения: 10.07.2019).

Васильева Мария Игоревна
Студентка каф. КИБЭВС ТУСУРа
Эл. почта: mariaigorevna1206@gmail.com

Куртукова Анна Владимировна
Студентка каф. БИС ТУСУРа
Эл. почта: av.kurtukova@gmail.com

Романов Александр Сергеевич
Канд. техн. наук, доцент каф. БИС ТУСУРа
Эл. почта: alexx.romanov@gmail.com

Федотова Анастасия Михайловна
Студентка каф. БИС ТУСУРа
Эл. почта: afedotowaa@icloud.com

УДК 519.816

З.А. Гасымов, М.М. Немирович-Данченко, С.В. Глухарева, Ю.О. Лобода

Подходы к принятию решений в сфере образования на основе обработки дополнительных биометрических данных обучающихся

Дан обзор методов обработки данных для принятия решений в сфере образования. Описанные методы позволяют оценить состояние и потенциал обучающегося и на основе этих данных принять решение о построении индивидуальной траектории обучения.

Ключевые слова: принятие решений, дополнительные биометрические данные, обработка данных, биологическая активность мозга, кожно-гальваническая реакция.

Сегодня цифровизация затронула все сферы деятельности. В основе цифровизации лежат: высокий уровень качества предоставляемых услуг, применение индивидуального подхода, увеличение скорости принятия решений и т.п. Постоянно увеличивающийся объем информации, большие данные, информационные технологии, автоматизация, искусственный интеллект привели к появлению качественно новых методов принятия решений. Принятие решений является неотъемлемой частью жизни человека в любой сфере – от личной до управленческой. В теории принятия решений широкое распространение получили методы психологии, философии, математики, информатики. В прошлом обрабатывали данные с помощью структурированных таблиц, баз данных. В период цифровизации данные уже невозможно обработать традиционными методами. Обработка данных является актуальной и для системы образования.

В последние десятилетия активно развиваются представления об образовании как о социальной услуге, при этом с точки зрения экономики продуктом образования являются как разнообразные образовательные услуги, предоставляемые учебным заведением, так и компетенции, полученные выпускниками школ. Можно утверждать, что потребителем продукта образования – носителем спроса – являются как потенциальные обучающиеся, выбирающие себе траекторию получения знаний, так и реальный сектор экономики, где носители таких знаний будут востребованы. Этим обусловлена актуальность обновления методов принятия решений.

После ряда реформ отечественная система образования получила некоторые степени свободы. Это обеспечивает относительно быстрое реагирование на вариации потребностей у носителей спроса – потребителей образовательных услуг, тем самым формируя новые модели образовательных учреждений и учебных программ. А это, в свою очередь, привело к появлению новых возможностей при выборе формы обучения и уровня образования. Появление реальной конкуренции за потребителя выдвинуло на первое место проблему изменения качества предоставляемых образовательных услуг. Этому способствуют и произошедшие изменения законодательстве, а именно в в ст. 3 ФЗ «Об образовании» заложены достаточно гибкие подходы к образовательным учреждениям и образовательному процессу для учета возможностей и способностей каждого обучающегося. В Законе постулируется адаптивность системы образования и предоставление педагогам свободы в выборе форм обучения, констатируется необходимость гибкого подхода при реализации образовательного процесса. Именно это и дало возможность в последние годы активно внедрять в школьном образовании цифровые технологии.

Внедрение цифровых технологий в образование сопряжено, очевидно, с влиянием цифровизации на состояние и развитие обучающихся. Изучение этого влияния основывается в том числе на регистрации физиологических и поведенческих данных и последующей их обработке. Обработка и анализ биометрических данных позволяют выделять признаки для дальнейшей классификации и определения состояний участников образовательного процесса. Получение данных подвержено помехам различного генезиса, что значительно снижает результативность последующей классификации. Следовательно, важной фундаментальной научной проблемой является разработка алгоритмов и программ для надежной классификации учащихся по регистрируемым инструментальным данным, что в дальнейшем будет способствовать формированию как индивидуальной образовательной траектории, так и определению неформальных социальных связей в группах учащихся. Данные методы позволяют не только дополнить цифровой след учащегося в образовательном пространстве, но и уточнить характер изменения состояния учащегося и степени его развития в цифровой образовательной среде.

В основе методов решения рассматриваемых в проекте задач лежит анализ состояния и потенциала учащихся.

В качестве базового метода исследования состояния используется биоэлектрическая активность головного мозга. ЭЭГ (электроэнцефалограмма) – основной метод исследования биоэлектрической активности мозга (БЭА), что дает возможность обнаружить любые отклонения от нормальных показателей и определить их локализацию. Регистрация ЭЭГ производится при помощи нейроинтерфейса через электроды. Обследование с помощью ЭЭГ

происходит по стандартному протоколу, который включает в себя запись в состоянии бодрствования или сна, с применением функциональных нагрузок. К таким нагрузкам относятся:

– фотостимуляция (световое воздействие);

– открытие и закрытие глаз;

– гипервентиляция (использование особой техники дыхания во время процедуры ЭЭГ).

Обработка осуществлялась как с исходными сигналами, так и сигналами, усредненными по времени.

Запись ЭЭГ головного мозга происходит посредством размещения электродов на коже головы с помощью проводящего геля либо пасты либо на сухих электродах, обычно после подготовки путем легкого растирания для уменьшения сопротивления из-за мертвых клеток кожи. Чаще всего используются электроды, которые закреплены к отдельным проводам, некоторые системы применяют сетки, в которые встроены электроды. Расположение и названия электродов определяются Международной системой для большинства клинических и исследовательских применений (за исключением случаев использования высокоплотных массивов). Эта система обеспечивает соответствие названий электродов в лабораториях. В основном в клинических исследованиях применяются 19 регистрирующих электродов. Наименьшее число электродов используется для снятия показаний ЭЭГ у новорожденных. Количество электродов может увеличиваться на сетке до 256 электродов, более или менее равномерно расположенных вокруг головы, для увеличения области исследования головного мозга.

Электроды соединены с одним входом дифференциального усилителя; общий опорный электрод системы подключается к другому. Данные усилители увеличивают напряжение среди активных и эталонных электродов. В аналоговой ЭЭГ сигнал обрабатывается и выводится как отклонение ручек, когда бумага проходит под ними. Однако большинство систем ЭЭГ в настоящее время являются цифровыми, а усиленный сигнал оцифровывается через АЦП. Аналого-цифровое преобразование, как правило, совершается при 256–512 Гц в клинической ЭЭГ кожи головы; частоты дискретизации до 20 кГц применяются в отдельных исследовательских приложениях. В период записи может применяться серия операций активации. Данные операции могут вызывать нормальную или аномальную активность ЭЭГ, которая в противном случае не может быть замечена. Эти процедуры включают гипервентиляцию, световое раздражение (со стробоскопом), закрытие глаз, сон, умственную активность и лишение сна. Во время эпилептического мониторинга могут быть изъяты типичные приступы для пациента. Сигналы ЭЭГ могут быть обнаружены с помощью оборудования с открытым исходным кодом, такого как OpenBCI, и сигнал может обрабатываться свободно доступным программным обеспечением ЭЭГ, таким как EEGLAB или Neurophysiological Biomarker Toolbox.

В качестве дополнительных методов получения данных возможно использование некоторых разновидностей сенсоров, считывающих электродермальную активность (например, КГР).

Кожно-гальваническая реакция (КГР) – одна из разновидностей электродермальной активности (электрической активности кожи) и показатель электропроводимости кожи. Этот показатель имеет физическую и тоническую формы. Физическая форма КГР – один из компонентов ориентировочного рефлекса, возникающего в ответ на новый стимул и угасающего с его повторением. Тоническая форма КГР характеризует медленные изменения кожной проводимости, которые развиваются, например, при утомлении. В настоящее время наряду с термином КГР используется и термин ЭАК (электрическая активность кожи). ЭАК связывает психические процессы человека с электрическими явлениями в организме.

На графиках (рис. 1) отображается реакция испытуемого на вербальную информацию положительного и отрицательного характера. На левом графике мы можем увидеть возрастающие значения показаний датчика кожно-гальванической реакции. Показания датчика пульса не столь явно, но также отражают стрессовое состояние испытуемого при обращении к нему экспериментатора.

Приведены графики показаний датчиков при получении испытуемым вербальной информации негативного характера. Видно, что показания сенсора КГР имеют ниспадающий характер. Показания датчика пульса не столь явно, но также отражают стрессовое состояние испытуемого при обращении к нему экспериментатора.

Регистрация ЭЭГ производится при помощи электроэнцефалографа через электроды. Обследование с помощью ЭЭГ происходит по стандартному протоколу, который включает в себя запись в состоянии бодрствования или сна, с применением функциональных нагрузок. Использовались следующие операции по каждому каналу ЭЭГ[1]:

1. Усреднение сигнала по серии экспериментов. Эта операция, с одной стороны, позволяет избавиться от шума, но с другой – размывает границы временного интервала, в котором происходит действие.

2. Вычитание из значений сигнала линейного тренда. Эта процедура дает возможность оперировать относительными, а не абсолютными значениями сигнала.

3. Поиск всех экстремальных точек, удовлетворяющих заданному пороговому критерию. Очевидная процедура, поскольку действие проявляется именно в резком усилении сигнала.

4. Построение функции плотности экстремальных точек F(t,channel). Эта функция определяется как количество экстремумов, приходящихся на единицу времени.

5. Построение «гистограммы» функции F(t,channel). В сочетании с пороговым критерием эта функция позволяет локализовать временные интервалы, где происходят действия.

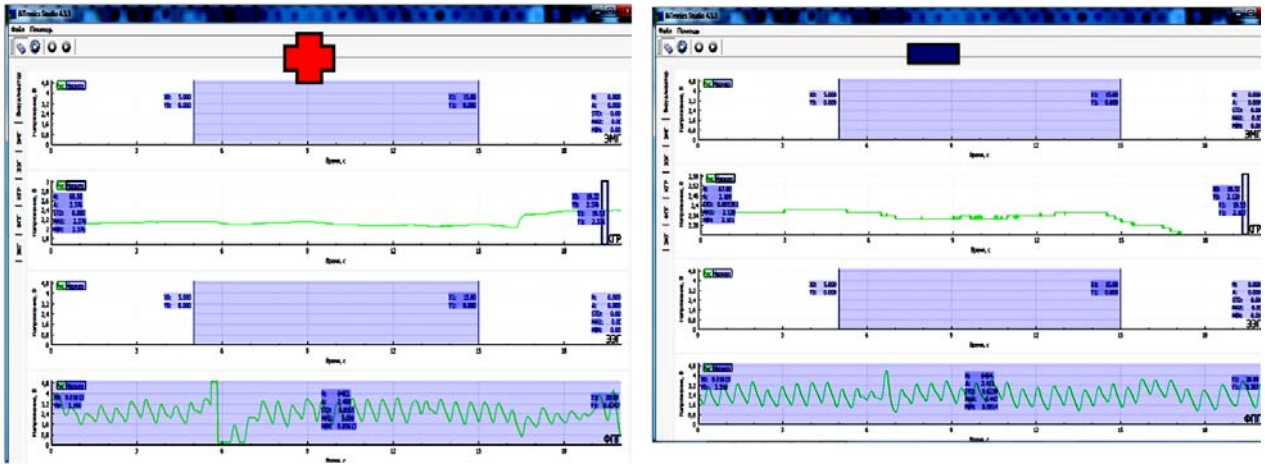


Рис. 1. КГР-сигнал при вербальном положительном и отрицательном воздействии на испытуемого. Изменения психофизиологического состояния, полученные с датчиков КГР и фотоплетизмографа

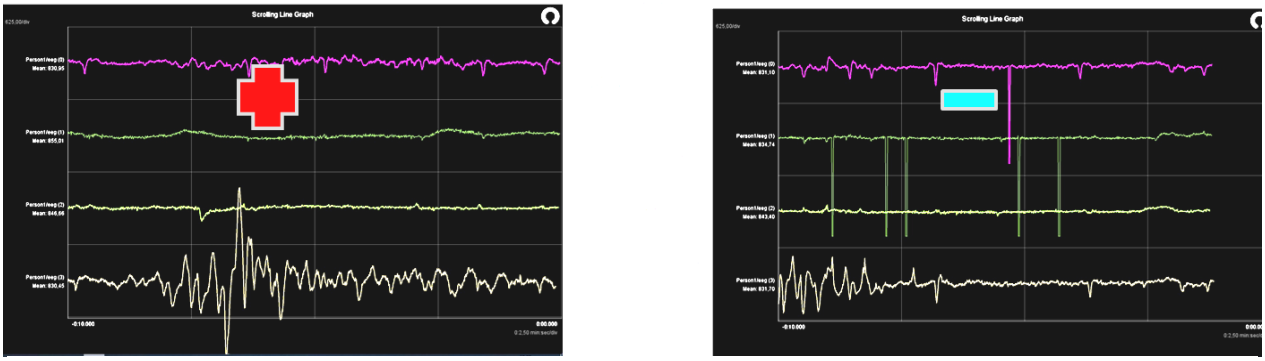


Рис. 2. Изменения психофизиологического состояния, полученные с нейроинтерфеса Muse. ЭЭГ-сигнал при вербальном положительном и отрицательном воздействии на испытуемого

Обработка осуществлялась как с исходными сигналами, так и сигналами, усредненными по времени.

На рис. 2 отображается реакция испытуемого на вербальную информацию положительного и отрицательного характера.

При обработке ЭЭГ одним из обычно используемых методов является преобразование Фурье. Мы, кроме этого, применяем также и метод Прони. Использование спектров Фурье реализовано в совокупности с методикой скользящего среднего – вычисление в одной точке значений по ширине всего окна – с последующей фильтрацией специальным режекторным фильтром. Обычные фильтры обрезают фланговые частоты с той или иной степенью сглаживания или с разными весовыми коэффициентами. Наш фильтр позволяет вырезать целевые частоты из тела спектра. В свою очередь, целевые частоты выбираются в результате анализа совокупностей записей. При чтении и препроцессинге записей ЭЭГ в соответствии с принадлежностью к классу истинности будет найден набор частот, по которому и строится режекторный фильтр.

Преобразование Прони используется вообще не очень часто, а в обработке биометрических данных – практически не встречается. Мы опираемся здесь, с одной стороны, на инструментарий среды Matlab, а с другой стороны, и на собственные программные разработки. Нами на основе опубликованных данных (см., например, [2]) разработан пакет программ, реализующий вычисление спектральной плотности энергии (The Power Spectral Density, PSD) [3]. В программах используется обычный метод Прони (обычный метод наименьших квадратов Прони) и модифицированный метод для аппроксимации последовательности комплексных данных рядом незатухающих комплексных синусоид. Обычно процедура обработки по Прони завершается вычислением параметров разложения в ряд Прони – амплитуды, коэффициентов затухания, частот и фаз. Но мы используем также вычисление так называемого «спектра» Прони. Он может быть корректно вычислен для любой наперед заданной вещественной частоты и пригоден как для узкополосных, так и для широкополосных записей.

Таким образом, данные методы позволют оценить состояние и потенциал обучающегося. Собранные дополнительные биометрические данные позволят подобрать соответствующие предметы для углубленного изучения, выявить направления интересов обучающегося, а также построить индивидуальную траекторию обучения.

Для оценки развития обучающегося будут применены методы, направленные на исследование потенциала школьников, что позволит определить на-

правления будущей профессиональной подготовки, тем самым решив вопрос мотивации и профориентации будущих студентов.

Литература

1. Лобода Ю.О., Катаев С.Г., Гасымов З.А., Немчанинов А.А. Управление мехатронной рукой. – Томск : Изд-во ТУСУРа, 2018. – С. 191–192.

2. Марпл-мл. С.Л. Цифровой спектральный анализ и его приложения: пер. с англ. – М.: Мир, 1990. – 584 с.

3. Немирович-Данченко М.М. Возможности обнаружения множественной трещиноватости сплошной среды на основе оценки спектральной плотности энергии отраженного сигнала // Физическая мезомеханика. – 2013. – № 1. – С. 105–110.

Гасымов Захид Абдуллаоглы
Студент лечеб. фак-та СибГМУ
Эл. почта: iamgasymov@gmail.com

Глухарева Светлана Владимировна
Ст. преп. каф. КИБЭВС ТУСУРа
Эл. почта: gsv@keva.tusur.ru

Немирович-Данченко Михаил Михайлович
Д-р физ-мат. наук, профессор каф. КИБЭВС ТУСУРа
Эл. почта: nmm@fb.tusur.ru

Лобода Юлия Олеговна
Канд. пед. наук, доцент каф. КИБЭВС ТУСУРа
Эл. почта: yulloboda@gmail.com

УДК 621.039.516.2:621.039.514.45:621.039.566

В.А. Игнаткин, М.А. Коломиец, А.А. Лапкис, О.Ф. Цуверкалова

Программа для оперативного расчета изменения реактивности реактора ВВЭР-1000 «ANFC-i»

Описано разработанное авторами программное средство для поддержки оператора реактора ВВЭР-1000 в части принятия решений о воздействиях на реактивность. Приведены основные результаты опытной эксплуатации программного средства на Ростовской АЭС.
Ключевые слова: ВВЭР-1000, реактивность, топливная загрузка, эффект реактивности, коэффициент реактивности, поглощающие стержни, нейтронно-физические характеристики.

Реактивность – безразмерная величина, определяющая протекание цепной реакции деления в ядерном реакторе. Безопасная эксплуатация реакторной установки (РУ) ВВЭР в соответствии с рекомендациями WANO [1] подразумевает, что при планировании воздействия на реактивность оперативный персонал имеет чёткое представление о конечном состоянии реактора и переходном процессе. В качестве воздействий на реактивность в соответствии с рабочим технологическим регламентом безопасной эксплуатации предусмотрены [2]:

– перемещение органов регулирования системы управления и защиты (ОР СУЗ);

– изменение концентрации борной кислоты в первом контуре воздействием на систему продувки-подпитки.

Оценка конечного состояния реактора подразумевает выполнение расчётного анализа с учётом фактических нейтронно-физических характеристик (НФХ) топливной загрузки. Для использования оперативным персоналом могут быть рассмотрены два основных метода:

– расчёт баланса реактивности по справочным НФХ топливной загрузки, рассчитанным заранее с применением трёхмерных нейтронно-физических кодов (в случае эксплуатации ВВЭР-1000 и ВВЭР-1200 – кода БИПР-7А);

– непосредственное использование трёхмерных нейтронно-физических кодов (в случае эксплуатации ВВЭР-1000 и ВВЭР-1200 это программа ИР «Имитатор реактора», установленная на рабочем месте ведущего инженера управления реактором (ВИУР).

В рамках мероприятий по повышению безопасности эксплуатации реакторов Ростовской АЭС была разработана и передана для тестирования в условиях учебно-тренировочного подразделения АЭС программа ANFC-i [3]. ANFC-i реализует расчёт конечного состояния реактора с помощью баланса реактивности. Алгоритмы разработанной программы основаны на процедурах и справочных данных, регламентированных эксплуатационным документом реактора ВВЭР – альбомом НФХ топливной загрузки [4]. Для тестирования выбран способ сопоставления с результатами численного моделирования на полномасштабном тренажёре (ПМТ), используемый в настоящее время на российских АЭС для программ сходного назначения [5].

Известные способы расчётной поддержки

К преимуществам метода баланса реактивности можно отнести возможность его выполнения вручную по стандартизированной процедуре. Такая процедура на Ростовской АЭС также предусмотрена эксплуатационной документацией – альбомом НФХ топливной загрузки. Традиционно при подготовке персонала АЭС с ВВЭР-1000 от ВИУР и начальника смены реакторного цеха (НСРЦ) требуется умение выполнить вручную расчёт изменения мощности реактора или пусковой концентрации бора, демонстрируя способность понимать и использовать на

практике основные физические особенности реактора ВВЭР-1000. Не ставя под сомнение данные требования к персоналу, опыт тренировок персонала в условиях ПМТ Ростовской АЭС показал следующее:

– в условиях блочного щита (пульта) управления энергоблока ВВЭР выполнение расчёта и его проверка занимают значительное время (не менее 10–15 мин) и требуют отвлечения персонала от текущего технологического процесса;

– в условиях большого количества факторов, отвлекающих персонал от расчёта, он неизбежно сопряжён с риском ошибки.

В связи с этим следует рассматривать расчётное обеспечение работы ВИУР только с применением программных средств (ПС). Так, рабочие места на энергоблоках ВВЭР-1000 и ВВЭР-1200, за редким исключением, оснащены программой ИР – трёхмерным нейтронно-физическим кодом, предназначенным для прогнозирования состояния реактора. Программа ИР – разработка НИЦ «Курчатовский институт» (научный руководитель эксплуатации ВВЭР-1000) включает математическую модель, соответствующую модели, используемой для обоснования НФХ топливной загрузки в комплексе ПС «КАСКАД». Методология расчёта ИР основана на решении двухгруппового уравнения диффузии нейтронов на редкой сетке [6]. Экранная форма ИР показана на рис. 1.

Для работы программы ИР требуется получение от системы внутриреакторного контроля «файлов шлаков» – точных сведений о послойном выгорании тепловыделяющих сборок на основании восстановленного поля энерговыделения.

ПС предназначено для проведения следующих нейтронно-физических расчётов стационарных и нестационарных (переходные процессы на ксеноне и самарии) режимов работы РУ:

– расчёт отдельных состояний реактора, а также процессов выгорания топливной загрузки и изменения концентрации ядер Xe-135 и Sm-149;

– расчёт параметров критичности;

– расчёт эффективности органов регулирования;

– расчёт объёмного распределения мощности в активной зоне.

Обратной стороной обширных возможностей программы ИР является некоторая сложность в её освоении, обусловленная сложностью заложенной математической модели реактора. При этом освоение программы ИР подразумевает, что оператор отлично ориентируется в физических свойствах топливной загрузки реактора ВВЭР.

Описание разработки

Для устранения указанных недостатков авторами, как отмечалось выше, по заказу Ростовской АЭС была разработана программа для прогнозирования состояния реактора с помощью баланса реактивности. Разработанная программа осуществляет информационную поддержку при принятии оператором реакторной установки решения о воздействии на реактивность.

ANFC-i предоставляет возможность осуществления расчётов переходных процессов, связанных с изменением реактивности, во всём диапазоне мощностей, определяемом максимально допустимой тепловой мощностью реактора в зависимости от количества работающих петель. Максимально допустимая тепловая мощность реактора составляет 104% (3120 МВт) от номинальной при четырех работающих ГЦН и 40% (1200 МВт) от номинальной при двух работающих ГЦН.

На рис. 2 приведён пример экранной формы ANFC-i, предназначенной для прогнозирования нового положения ОР СУЗ при изменении мощности реактора.

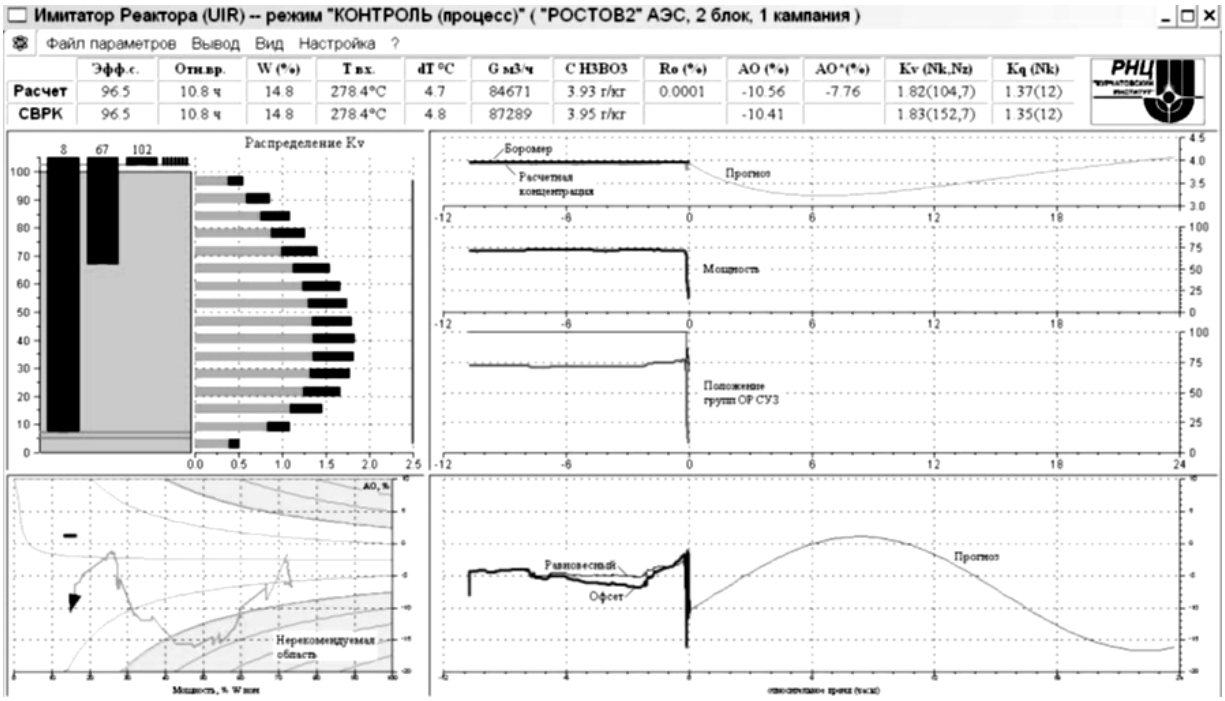


Рис. 1. Экранная форма прогнозирования параметров реактора в программе ИР

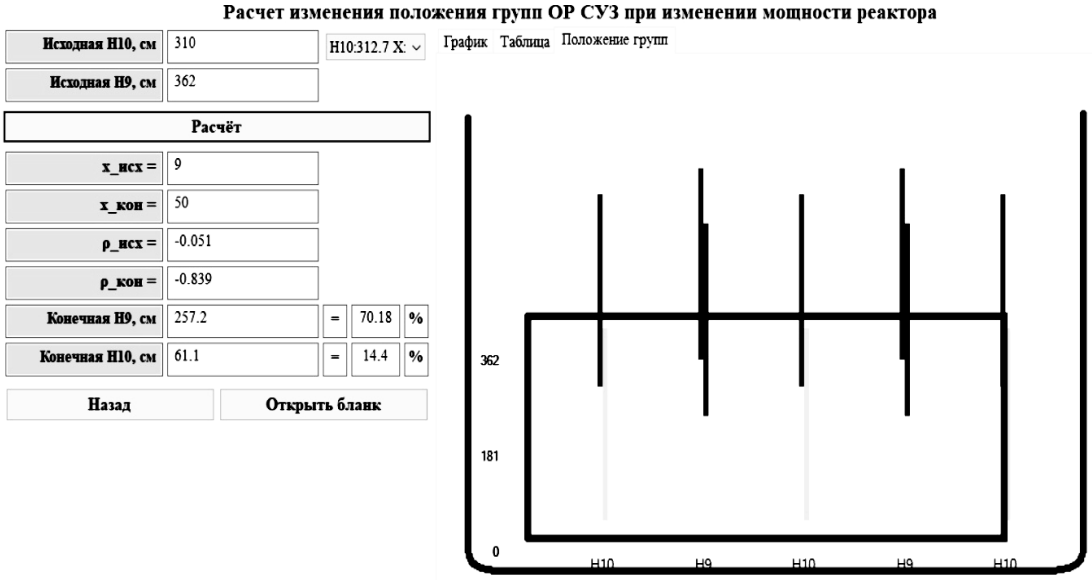


Рис. 2. Экранная форма расчёта положения групп ОР СУЗ

Разработанное программное средство реализует следующие виды расчётов:

1) расчет изменения положения групп ОР СУЗ при изменении мощности реактора;

2) расчет изменения концентрации борной кислоты при изменении мощности реактора;

3) расчет изменения критической концентрации борной кислоты при изменении положения групп ОР СУЗ на неизменной мощности реактора;

4) расчет времени и объёма водообмена при подпитке первого контура чистым дистиллятом или раствором борной кислоты;

5) поиск критической конфигурации реактора (под конфигурацией понимается сочетание мощности, положения групп ОР СУЗ и концентрации борной кислоты) после изменения состояния РУ с учетом изменения концентрации ксенона-135;

6) расчет пусковой концентрации борной кислоты после перевода РУ в состояние «горячий останов».

Расчеты проводятся на основании справочных данных альбома НФХ, читаемых программой в формате xml. Перевод данных в требуемый формат был выполнен в процессе разработки. Для того чтобы расчеты были выполнены верно и пользователь вводил данные в заданных пределах, в программе предусмотрены сообщения об ошибках.

Опытная эксплуатация ANFC-i

В настоящее время разработанная программа проходит тестирование в учебно-тренировочном подразделении Ростовской АЭС. Возможно сделать предварительные выводы:

– разработанная программа реализует заявленный набор функций в полном объёме;

– освоение интерфейса и работы программы занимает у квалифицированного персонала реакторного цеха не более 15–30 мин;

– в процессе тренировок на полномасштабном тренажёре на расчёт изменения реактивности персонал тратит не более 1–1,5 мин в условиях действия отвлекающих факторов.

По замечаниям пользователей в программу были внесены дополнительные возможности:

– ввод исходных данных и выдача результатов в части положения ОР СУЗ как в сантиметрах от низа активной зоны, так и в процентах хода;

– ввод исходных данных и выдача результатов в части мощности энергоблока, как тепловой, так и электрической;

– прогноз концентрации борной кислоты на сутки вперёд с учётом ксеноновых процессов;

– расчёт времени требуемого водообмена с учётом подачи подпиточных насосов как для подачи дистиллята, так и борного концентрата.

Сопоставление расчётов по ANFC-i с результатами моделирования на ПМТ проводилось в основном при процессах подъёма и снижения мощности энергоблока. В качестве показателей сравнения были выбраны величины относительного расхождения результата расчёта по ANFC-i с результатами моделирования на ПМТ. Так, если при расчёте изменения положения ОР СУЗ при изменении мощности было получено по ANFC, что положение 10-й группы ОР СУЗ нужно изменить на $\Delta H_{10(ANFC)}$, а на ПМТ – на $\Delta H_{10(ПМТ)}$, то относительное расхождение определяется по формуле

$$d_1 = \left| \frac{\Delta H_{10(ANFC)} - \Delta H_{10(ПМТ)}}{0{,}5 \times \left(\Delta H_{10(ANFC)} + \Delta H_{10(ПМТ)} \right)} \right|. \qquad (1)$$

Аналогично для концентрации борной кислоты C_B определяется

$$d_1 = \left| \frac{\Delta C_{B(ANFC)} - \Delta C_{B(ПМТ)}}{0{,}5 \times \left(\Delta C_{B(ANFC)} + \Delta C_{B(ПМТ)} \right)} \right|. \qquad (2)$$

При расчётах борной перекомпенсации на постоянной мощности сопоставлялось расчётное и смоделированное перемещение 10-й группы ОР СУЗ, перемещаемой в регламентное положение путём

повышения концентрации борной кислоты в первом контуре, аналогично формуле (1).

Результаты сопоставления приведены в таблице.

Тестирование ANFC-i

Вид расчёта	Количество выполненных расчётов	Относительное расхождение в натуральных единицах d_1, %
Расчёт изменения положения ОР СУЗ при изменении мощности	12	1,4–14,2
Расчёт изменения концентрации борной кислоты при изменении мощности	9	1,2–5,2
Расчёт борной перекомпенсации при постоянной мощности	12	1,5–11,4

Причиной повышенной погрешности расчёта положения ОР СУЗ может быть большое количество допущений, заложенное в расчёт их эффективности. Так, в соответствии с альбомом НФХ, относительная погрешность расчёта эффективности полного хода группы ОР СУЗ составляет ±10% в единицах реактивностика. При этом в [3] авторами было показано, что относительная погрешность возрастает при расчёте частичных перемещений ОР СУЗ. Таким образом, не представляется возможным значительно повысить точность этого расчёта в рамках существующей системы инженерно-расчётной поддержки эксплуатации реакторов ВВЭР, которая подразумевает использование комплекса ПС «КАСКАД».

Заключение

Использование программы, основанной на расчёте баланса реактивности, позволяет повысить безопасность эксплуатации реакторной установки ВВЭР за счёт увеличения точности и скорости оценки конечного состояния реактора при принятии решения о воздействии на реактивность, в сравнении с традиционным использованием альбома НФХ.

Литература

1. WANO GL 2005-03: Guidelines for Effective Reactivity Management.

2. Белозеров В.И., Жук М.М., Кузина Ю.А., Терновых М.Ю. Физика и эксплуатационные режимы реактора ВВЭР-1000. – М.: НИЯУ МИФИ, 2014. – 288 с.

3. Игнаткин В.А., Коломиец М.А., Лапкис А.А. Интерактивный альбом нейтронно-физических характеристик топливной загрузки реакторов ВВЭР // Глобальная ядерная безопасность. – 2019. – № 2. – С. 76–85.

4. РД ЭО 1.1.2.25.0445–2016. Требования к содержанию альбома нейтронно-физических характеристик топливных загрузок реакторов ВВЭР-1000 и ВВЭР-1200.

5. Семёнов В.К., Вольман М.А. Оценка точности метода определения коэффициентов реактивности и эффективности твердых поглотителей на основе решения обратной задачи динамики точечного реактора // Глобальная ядерная безопасность. – 2018. – № 3. – С. 64–72.

6. Аттестационный паспорт программного средства «ИР 2007 (версия 1.3)» № 341, выд. Эксперт. советом по аттестации программных средств при Ростехнадзоре 21.11.2013 г.

Игнаткин Вячеслав Андреевич
Оператор реакторного отд.
Ростовской атомной станции (РоАЭС)
ORCID 0000-0002-1759-5675
Эл. почта: IgnatkinVA@yandex.ru

Коломиец Мария Анатольевна
Студент Высшей инжиниринговой школы НИЯУ МИФИ
ORCID 0000-0002-0027-4306
Эл. почта: mariya.kolomiec.97@mail.ru

Лапкис Александр Аркадьевич
Ст. преп. каф. АЭ ВИТИ НИЯУ МИФИ
ORCID 0000-0002-9431-7046
Эл. почта: aalapkis@mephi.ru

Цуверкалова Ольга Феликсовна
Доцент каф. ИиУС ВИТИ НИЯУ МИФИ
ORCID 0000-0001-6304-4498
Эл. почта: oftsuverkalova@mephi.ru

УДК 004.42

Е.В. Грива, Р.С. Кульшин, С.В. Коновалов

Разработка платформы оказания паллиативной помощи

Существует необходимость оказания паллиативной помощи. Во многих случаях человек, выписывающийся из больницы, остается без минимального медицинского присмотра и вынужден полностью сам себя обслуживать. Для решения этих проблем разрабатывается программное обеспечение на основе технологии чат-ботов.
Ключевые слова: чат-боты, паллиативная помощь, искусственный интеллект.

В настоящее время люди, выписывающиеся из больницы после тяжелых заболеваний, остаются без минимального медицинского присмотра. Они вынуждены оказывать себе помощь самостоятельно или долго искать неравнодушного специалиста.

Все это время пациент находится без необходимой помощи и теряет драгоценное время. Разрабатываемая нами платформа, основанная на технологиях чат-ботов и искусственного интеллекта, ускоряет процесс связи пациентов с волонтерами и медицинскими центрами.

Чат-бот – это программа, работающая внутри мессенджера или социальной сети. Такая программа способна отвечать на вопросы, а также самостоятельно задавать их. Чат-боты используются в разных сферах, в том числе и в разрабатываемой платформе.

Система состоит из двух частей [1]. Первая часть – бот пользователя, вторая – WEB-панель администратора. Для хранения данных используется СУБД PostgreSQL [2].

Бот могут использовать несколько типов пользователей. Основными пользователями бота являются: пациенты и люди, нуждающиеся в помощи, волонтеры, медицинские учреждения, волонтерские центры, компании и люди, желающие стать спонсорами.

Вся платформа работает на базе социальной сети «Вконтакте» и мессенджера Telegram. Программа взаимодействует с API каждого мессенджера, а именно Telegram [3] и VK [4]. Пользователь может работать с ботов в выбранном им мессенджере, программа взаимодействует с базой данных и адмнпанелью самостоятельно [5, 6].

Web-панель администратора позволяет через удобный интерфейс модерировать всю систему, дополнять и редактировать данные, взаимодействовать с пользователями лично.

Применение искусственного интеллекта в принятии решений

Искусственный интеллект позволяет направлять заявки пациентов волонтерам с необходимыми компетенциями, позволяет за разные задания начислять разное количество баллов рейтинга. Также искусственный интеллект позволяет обрабатывать подозрительные заявки и подозрительную активность пользователей.

Взаимодействие пользователей с платформой

Пользователями являются: пациент, волонтер, медицинское учреждение, волонтерский центр и спонсоры.

После прохождения простой регистрации пациент может создавать новые заявки, редактировать старые, просматривать медицинские учреждения, принимать ответы на заявку от волонтеров, управлять своим профилем и пользоваться внутренним магазином предложений.

Волонтер после регистрации может принимать заявки от пациентов, управлять заявкой, управлять своим профилем, пользоваться внутреннем магазином предложений.

Медицинское учреждение может редактировать свой профиль, проводить рекламные компании, размещать свои предложения во внутренним магазине предложений.

Волонтерские центры могут регистрировать нескольких волонтеров, управлять их профилями и принимать групповые заявки на помощь.

Спонсоры могут проводить рекламные кампании, предоставлять свои товары и услуги во внутренний магазин предложений и вносить пожертвования на благотворительность.

На рис. 1 показаны сценарии использования платформы разными пользователями.

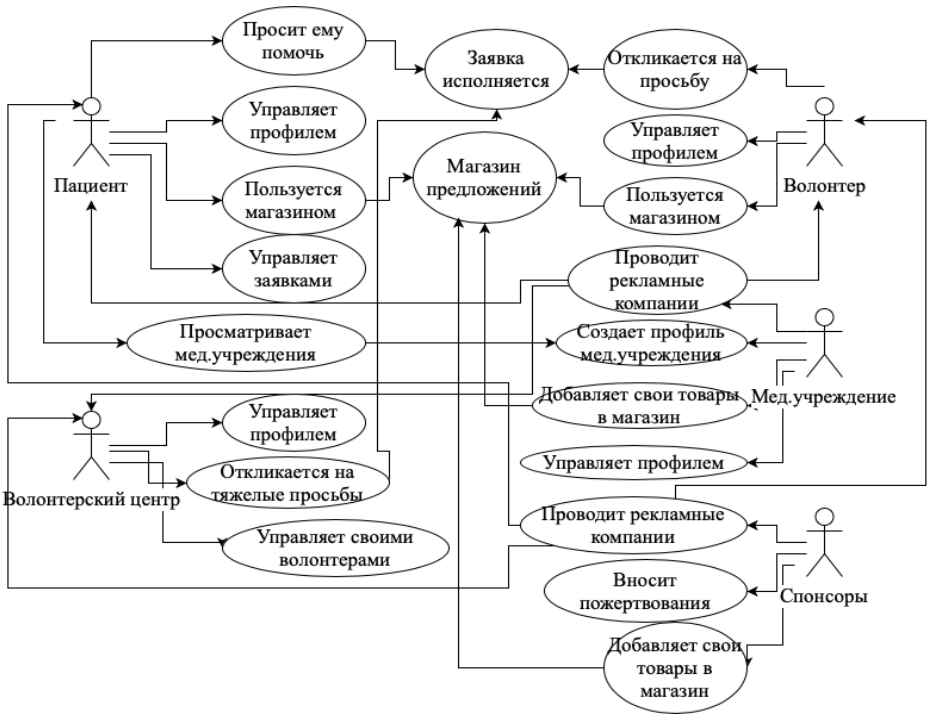


Рис. 1. Диаграмма прецедентов пользователей платформы

Новизна предлагаемого решения

Использование чат-ботов. Они не требуют установки, не нуждаются в обновлении, являются кроссплатформенными, использование обработки данных на серверах разгружают устройства пользователей. Чат-боты размещаются в мессенджерах и социальных сетях, что позволяет пользователям использовать их в том месте, где они проводят очень

много времени. В чат-ботах все данные хранятся на сервере, который нельзя отследить через бота, что позволяет обеспечить лучшую защиту данных пользователей [5, 6].

Использование элементов геймификации позволяет подогреть интерес волонтеров к использованию системы.

Увеличивается скорость взаимодействия волонтеров/организаций с пациентами. Поиск ближайших волонтеров происходит с использованием геолокации.

Имеющиеся аналоги

В результате поиска аналогов и продуктов, решающих схожие задачи платформы оказания паллиативной помощи, прямых или близких по смыслу конкурентов на территории Российской Федерации и стран ближнего зарубежья обнаружить не удалось.

Ближайшими по смыслу конкурентами являются локальные мобильные приложения, группы в социальных сетях и сайты с похожеей, но отличающейся по прямому назначению тематикой.

1. Большинство из найденных мобильных приложений функционируют в рамках небольшого региона/города и работают для конкретной организации. Эти приложения редко обновляются, некорректно работают, напрямую не направлены на оказание паллиативной помощи и используются только для осведомления волонтеров данных организаций и субъектов Российской Федерации.

2. Найденные нами группы в социальных сетях имеют слабую поддержку, низкий охват аудитории, напрямую не направлены на оказание паллиативной помощи и действуют локально.

3. Обнаруженные нами сайты имеют все те же недостатки групп в социальных сетях.

Таким образом, прямых конкурентов нашей системы обнаружено не было.

В перспективе функционал системы будет развиваться, будут открываться новые области применения системы и использоваться новые технологии, такие как прием платежей, добавление в систему новых мессенджеров, использование искусственного интеллекта для ведения осмысленных диалогов. Все это приведет к созданию универсальной платформы для оказания помощи.

Литература

1. Мартин Роберт. Чистая архитектура. Искусство разработки программного обеспечения: пер. с англ. – СПб.: Питер, 2018. – 352 с.

2. Сенченко П.В. Организация баз данных: учеб. пособие. – Томск: ФДО, ТУСУР, 2015. – 170 с.

3. Telegram Bot API [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://core.telegram.org/bots/api (дата обращения: 12.09.2019).

4. ВКонтакте Callback API [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://vk.com/dev/callback_api (дата обращения: 07.03.2019).

5. Грива Е.В. Разработка автоматизированной информационной системы сбора, анализа и хранения данных о бронировании и заказах для малых предприятий, работающих в сфере оказания услуг / Е.В. Грива, Р.С. Кульшин, С.В. Коновалов // Матер. междунар. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых «Научная сессия ТУСУР–2019». Томск, 22–24 мая 2019 г.: в 4 т. – Т. 3. – Томск: В-Спектр, 2019. – С. 139–142.

6. Грива Е.В. Разработка автоматизированной информационной системы сбора, анализа и хранения данных о бронировании и заказах для малых предприятий, работающих в сфере оказания услуг / Е.В. Грива, С.В. Коновалов, Р.С. Кульшин // Инноватика–2019: сб. матер. XV Междунар. школы-конф. студентов, аспирантов и молодых ученых «Инноватика–2019» (Томск, 25–27 апреля 2019 г.). – Томск: STT, 2019. – С. 366–369.

Грива Егор Владимирович
Студент, каф. АСУ ТУСУРа
Эл. почта: GEVne@yandex.ru

Кульшин Роман Сергеевич
Студент каф. АСУ ТУСУРа
Эл. почта: kulshinroman@mail.ru

Коновалов Степан Вячеславович
Студент каф. АСУ ТУСУРа
Эл. почта: stepkon1999@mail.ru

УДК 004.942

А.Э. Петрунина, Н.С. Цыганков, А.К. Москалев

Нейросетевое моделирование при формировании приоритетных направлений развития региона

Нейросетевое моделирование на основе самоорганизующихся карт Кохонена выполнено с целью кластеризации экономики Канского района Красноярского края. В качестве базы использованы статистические данные об экономике около ста предприятий различных сфер деятельности района. Показано, что в процессе кластеризации четко выделяются четыре группы предприятий по видам хозяйственной деятельности. Главным из этого списка является мясо-молочное производство агропромышленного комплекса. В рамках указанного кластера методом нейросетевого моделирования выделены три предприятия, которые можно рассматривать как «точки роста» экономики района.

Ключевые слова: нейросетевое моделирование, самоорганизующиеся карты, кластерный подход.

Эволюция кластерной теории в экономике насчитывает уже несколько десятилетий, однако эта тема до сих пор не теряет своей актуальности [1]. На сегодняшний день в России кластерный подход признается наиболее эффективным методом развития регионов, так как в результате функциональной интеграции предприятий достигается не только повышение уровня их доходности, но также за счет активного кластерного взаимодействия повышаются и приумножаются конкурентные преимущества как участников кластера, так и всего региона в целом [2].

Кластерные образования, являясь самостоятельной и самоорганизуемой экономической единицей, способны обеспечить не только количественный прирост экономики, но также являются стимуляторами инновационной активности в регионе и взаимосвязанных отраслях промышленности [2–4]. Кластерный подход как технология управления региональным развитием и соответственно кластер как элемент инновационной инфраструктуры создают возможности для региона и бизнеса не только выжить, но и развиваться в условиях перехода к инновационной модели развития [5].

Существуют различные подходы к определению понятия «кластер». Анализируя их в совокупности, можно сказать, что они охватывают в себе один общий признак – объединение каких-либо объектов, выделяемых из большой совокупности по какому-либо идентичному для групп признаку. Подчеркивая отличительные особенности кластеров в каждой из наук, можно отметить, что универсальными особенностями кластеров будут служить: однородность компонентов для взаимного результативного обмена располагающими ресурсами; сочетание центростремительной и центробежной сил; нечеткость и подвижность границ и конфигурации; общая ресурсная база.

При определении специализации кластера опираются на следующие методы [6]:

– аналитический метод: исследование данных о территории, ее природных, трудовых и финансовых ресурсах производительных сил;

– метод индикативного планирования конкурентоспособности: количественный и качественный анализы существующей и определение перспективной конкурентоспособности;

– метод моделирования: исследование объектов кластера с помощью построения и изучения моделей реально существующих организаций, процессов или явлений;

– метод «затраты–выпуск»: исследование циркуляции товаров и услуг между отраслями промышленности и другими секторами экономики.

В данном исследовании для моделирования специализации кластера используется нейросетевой метод, а в качестве инструмента кластеризации использованы самоорганизующиеся карты Кохонена. Моделирование проводилось с использованием программно-аналитической платформы Deductor Studio.

Канский район Красноярского края в качестве объекта кластеризации выбран по нескольким причинам:

– необходимость развития территорий, в том числе районов Красноярского края, определена Стратегией социально-экономического развития Сибири до 2020 г.;

– преобладающие в районе отрасли сельского и лесного хозяйства обозначены в данной программе как приоритетные;

– низкие показатели эффективности экономики района по сравнению с близлежащими территориями Красноярского края (Назаровский, Ачинский, Шарыповский районы).

Анализ экономики, выполненный на основе изучения хозяйственной деятельности ведущих предприятий Канского района, показал, что можно выделить четыре основных направления деятельности:

– мясомолочное производство;

– растениеводство;

– лесное хозяйство;

– прочие компании (ресурсобеспечивающие).

База данных содержит экономические показатели 86 предприятий Канского района, имеющих разную сферу деятельности, из них:

– 12 предприятий, производящих мясомолочную продукцию;

– 15 предприятий, производящих растениеводческую продукцию;

– 46 предприятий сферы лесного хозяйства;

– 13 ресурсообеспечивающих предприятий.

Ядром будущего кластера будем считать административный центр Канского района – г. Канск.

При моделировании в качестве входных были выбраны следующие параметры:

– себестоимость продаж (руб.);

– чистая прибыль (руб.);

– удаленность от ядра кластера (км);

– численность работников (чел.);

– вид деятельности.

Результат моделирования самоорганизующихся карт представлен на рис. 1. Видна достаточно однородная структура, отвечающая отраслевой принадлежности экономики района.

Нейросетевое моделирование показало наличие четырех четко выраженных кластеров, размеры которых отличаются незначительно. При объединении в качестве главного показателя топологического подобия компаний был выделен показатель вида деятельности.

На рис. 2 представлены значимости параметров при моделировании карт. Сектор 1 объединяет в себе предприятия, производящие мясо-молочную продукцию, и предприятия-переработчики с наибольшей конкурентоспособностью. Также по результатам моделирования видно, что предприятия данного сектора обладают схожей численностью персонала и себестоимостью производимой продукции, поэтому данным параметрам также присвоена высокая значимость.

Во второй кластер вошли предприятия, производящие растениеводческую продукцию и предприятия перерабатывающей отрасли. В качестве пара-

метров, определяющих специфику предприятий данного кластера, можно назвать вид деятельности, численность предприятия и чистую прибыль компании за год.

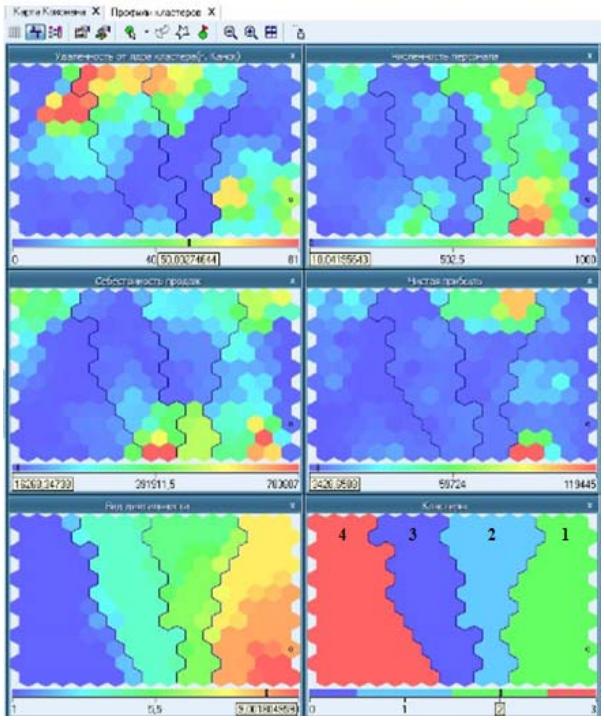


Рис. 1. Визуализация результатов кластеризации

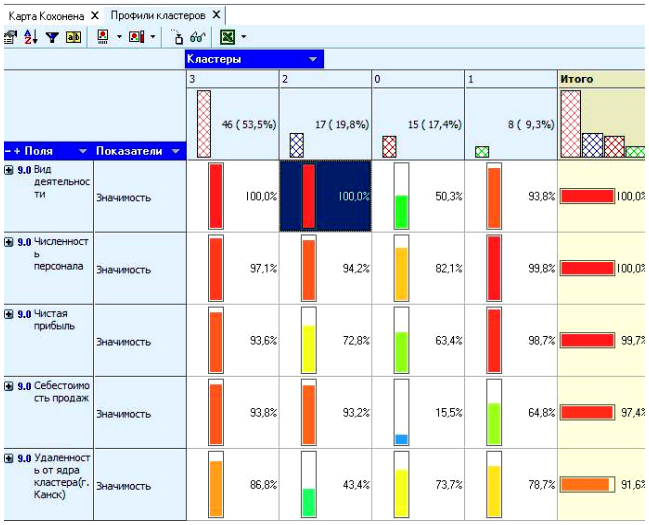


Рис. 2. Визуализация профилей кластеров

В третий кластер вошли ресурсообеспечивающие предприятия. Эти предприятия обеспечивают:

– водоснабжением, энергообеспечением и теплоснабжением;

– поставкой оборудования.

В данном кластере вид деятельности уже не является определяющим, в качестве ключевых можно назвать удаленность от ядра кластера и численность работников.

В четвертый кластер были объединены предприятия, которые относятся к лесному хозяйству. Данный кластер образуют наибольшее количество предприятий, поэтому данное направление является главным претендентом на лидерство.

Однако, анализируя требования и рекомендации к составу кластерных образований [2], можно сделать вывод, что помимо отраслевых компаний в состав должны входить в том числе:

– поставщики сырья и оборудования;

– финансовые учреждения;

– научно-исследовательские институты;

– транспортные и торговые посредники;

– производства по переработке и утилизации отходов;

– предприятия социальной инфраструктуры.

В связи с этим можно заключить, что агропромышленный кластер является наиболее перспективным направлением развития экономики Канского района.

Основываясь на полученных данных, а также на требованиях к компаниям, которые должны входить в кластер, предлагается в агропромышленный кластер Канского района внести компании из первой группы, которые образуют ядро кластера, компании из второй группы, дополняющие комплекс сельскохозяйственной продукции, а также некоторые предприятия из третьей группы, обеспечивающие деятельность основных компаний.

Важно отметить, что показатель территориальной удаленности от центра кластера не был выявлен как определяющий, что в современных условиях цифровой трансформации и повсеместного развития коммуникационных технологий является адекватным.

Исходя из требований к организациям, которые должны входить в кластер, помимо указанных компаний необходимо дополнить кластер следующими предприятиями:

– ветеринарными учреждениями (3 организации в районе);

– научно-образовательными учреждениями (более 10 учреждений в районе);

– банковскими учреждениями (филиалы более 15 различных банков).

В сформированном при моделировании кластере можно выделить ключевые «точки роста», т.е. компании, являющиеся опорными для данного объединения. Для этого с использованием статистических данных только предприятий первой группы проведена процедура моделирования, результаты которого представлены на рис. 3.

В результате моделирования выбраны три предприятия Канского района с критерием максимальной чистой прибыли, которые могут быть опорными предприятиями кластера.

Данное исследование позволяет сделать вывод, что использование нейросетевого подхода при формировании списка приоритетных направлений экономического развития регионов имеет большие перспективы. Самоорганизующиеся карты, поддерживающие алгоритм обучения без учителя, позволяют получить представление не только о перспективных направлениях развития, но также выявить ключевые

параметры, обеспечивающие лидерство и конкурентоспособность региона.

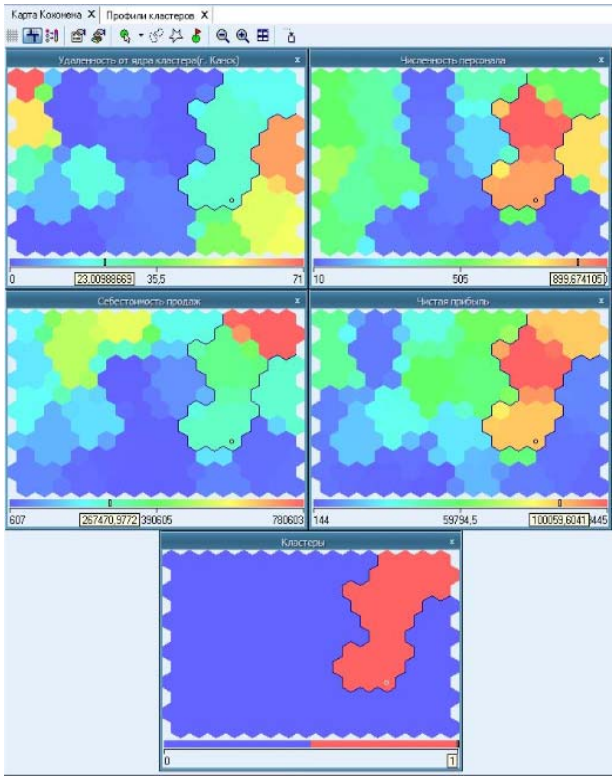


Рис. 3. Визуализация моделирования для выделения ведущих предприятий района

Литература

1. Марков Л.С. Теоретико-методологические основы кластерного подхода. – Новосибирск: ИЭОПП СО РАН, 2015. – 300 с.

2. Абрамов Р.А. Региональный инновационный потенциал промышленных кластеров / Р.А. Абрамов, С.К. Подчуфаров // Региональная экономика: теория и практика. – 2017. – Т. 15, вып. 5. – С. 881–895.

3. Котляров Н.Н. Зарубежный опыт формирования кластерных систем // Мировая экономика и международные экономические отношения. – 2014. – № 10. – С. 105–110.

4. Тонкова С. Опыт Болгарии в формировании кластерной политики / С. Тонкова, О.П. Бурматова // Регион: экономика и социология. – 2016. – № 2. – С. 237–252.

5. Бурматова О. П. Кластеры как форма локальных производственных систем // Мир экономики и управления. – 2016. – Т. 16, № 4. – С. 93–108.

6. Земцов С.П. Методы выявления кластеров малого и среднего бизнеса / С.П. Земцов, Д.В. Буков // Региональная экономика: теория и практика. – 2016. – Вып. 3. – С. 104–117.

Петрунина Анастасия Эдуардовна
Аспирант Сибирского федерального университета (СФУ)
Эл. почта: kafedra_efit@bk.ru

Цыганков Никита Сергеевич
Аспирант СФУ
Эл. почта: cyganikita@yandex.ru

Москалев Александр Константинович
Канд. физ.-мат. наук, доцент каф. экспериментальной физики и инновационных технологий СФУ
Эл. почта: ak_moskalev@mail.ru

УДК 004.023

В.М. Саклаков

Классификация субъектов взаимодействия в информационном пространстве общества

Проведен анализ существующих подходов к анализу процессов информационного взаимодействия субъектов общества. Дана оценка системных разрывов в понимании их роли и значения. Предложена классификация субъектов информационного взаимодействия. Декомпозиция проведена до уровня функций общественных систем и процессов, которые осуществляются в целом «облаке» организаций и пользователей. Сделан вывод о применимости предложенной классификации как рабочего инструмента анализа данных о протекающих в обществе процессах.

Ключевые слова: информационное взаимодействие, цифровая социология, выявление воздействия, деструктивное воздействие.

Экономические и социальные системы разного уровня и сложности через имеющиеся у них институты [1] формируют и корректируют процессы взаимного воздействия друг на друга, задавая соответствующие векторы движения данных систем. В конечном итоге каждая серия воздействий на определенную часть системы может приводить к увеличению, снижению или полной утрате ее целостности (устойчивости). Каждая система благодаря такому движению стремится занять нишу, которая в большей степени позволит ей сохранить устойчивость. При этом необходимо понимать, что каждая отдельно взятая система является одновременно подсистемой и надсистемой ряда других систем [2], т.е. между ними могут возникать противоречия или наоборот – консолидация. На более низком уровне обобщения в процесс воздействия включено огромное количество агентов данных систем. Для множества сфер общественной жизни [3] актуальным является выявление и прогнозирование процессов генерации

и диффузии воздействующего контента и реакции на него агентов, а также систем, в рамках которых они ведут свою деятельность.

С широким распространением информационных систем и технологий специфика сбора, обработки и анализа данных изменилась вследствие сверхбольшого объема их генерации и накопления различными системами, средами и сообществами. Одним из ярких примеров подобных сообществ являются социальные интернет-сети – потенциально один из наиболее крупных и значимых источников эмпирических данных для проведения исследований различной направленности. Однако, помимо явных преимуществ, такие данные имеют и очевидное ограничение, вызванное спецификой формируемых социальными сетями информационных потоков. Цифровой след [4], оставляемый огромным количеством пользователей, в большей степени пригоден для анализа именно социальных систем, т.е. к нему в полной мере можно применить инструментарий социологической науки.

Существующая проблемная ситуация позволяет сформулировать **цели настоящей работы**.

1. Анализ методов автоматизированного сбора, обработки, анализа данных о поведении пользователей в сети Интернет на основе системного подхода. Необходимо уточнить целевое ограничение: из трех видов контента, влияющего на устойчивость определенной системы – деструктивного, нейтрального и позитивного, выбрать один. По мнению автора, наиболее выраженным является влияние деструктивного контента. Это подтверждается интересом исследователей именно к данному направлению (например, 5), так как адекватный ответ на формирующиеся вызовы помогает сохранить целостность систем, агентами которых они являются. Кроме того, анализ деструктивных процессов является одной из значимых социологических задач, решение которой способствует обеспечению информационной безопасности [6].

2. Классификация субъектов информационного взаимодействия.

Данный комплекс целей имеет системный характер и будет достигаться и уточняться поэтапно в рамках настоящей и будущих работ.

Методы сбора, обработки, анализа данных о поведении пользователей в сети Интернет

На сегодняшний день как в научной, так и в профессиональной среде уже сложилось определенное понимание методик сбора, обработки и анализа данных. Многими авторами были предложены модели структуризации информации для дальнейшего анализа, позволяющего решить определенные, зачастую узкие задачи.

Выделим основные существующие **методы выявления деструктивного контента**:

1. *Слабо автоматизированный анализ активности в потенциально радикализированных «Dark Web»-сообществах или пользователей в открытых сетевых сообществах*. По ключевым словам отбираются данные, учитывающие геолокацию пользователя. Обработка данных ведется на основе эмпирического сопоставления сообщений групп пользователей и реальных террористических атак и моделей, созданных с помощью инструментария теории вероятностей и машинного обучения. Анализ данных основывается на выделении связей между пользователями и кластеризации групп по уровню опасности [7, 8].

2. *Семантическое моделирование процессов экстремизма*. Сбор данных проводится на основе семантической тональности сообщений пользователей в определенных сообществах. На этапе обработки ведется их классификация на «позитивные», «нейтральные» и «негативные». Результатом анализа является комплексная оценка настроений в сообществах [9].

3. *Моделирование криминальных процессов*. Сбор данных ведется как из открытых источников, например социальных сетей, так и из закрытых, таких как информационные системы транспортной инфраструктуры, доступ к которым имеют только специальные службы. Аналитики имеют дело с обработкой больших данных и вынуждены применять алгоритмы нейронных сетей. Анализ информации проводится с целью раннего пресечения преступлений или расследования уже случившихся фактов нарушения законов. Он опирается на методы бесконтактной, инициативной, предикативной, актуальной и глобальной аналитики [10].

4. *Моделирование эпидемических информационных процессов* [11]. Сбор данных осуществляется из социальных сетей и является многомерным – учитываются множество факторов от семантики до связей пользователей. Их обработка ведется на основе разработанной группы дискретных математических моделей инфицирования пользователей; в основе общей концепции лежит методология теории графов. Анализ данных ведется путем агрегации большого числа отдельных тем и сопоставления единичных параметров. Конечная цель: определение вероятности инфицирования пользователей.

5. *Моделирование процессов политических пертурбаций*. Данные собираются из социальных сетей и привязаны к конкретным событиям, например «Болотной площади» [13] или «Евромайдану» [14]. Обработка ведется путем формирования матрицы с определенными столбцами (например, темы, события, акторы). Анализ проводится на основе тональности высказываний, классифицируемых по ключевым словам. Важным отличием подхода от других является введение динамики в описательный процесс.

Основная проблема описанных подходов – отсутствие комплексной модели субъектов информационного взаимодействия. При этом в явном виде учитывается только деструктивный контент, нейтральный и позитивный учитываются в существенно меньшей степени. Анализ ведется слабо приспособленными для поставленных задач инструментами и

без необходимого и достаточного описания рассматриваемых систем, которое, безусловно, должно быть многомерным. Методология работы раскрывается слабо или не раскрывается вовсе. Еще одно важное замечание к рассматриваемым работам: применение ограниченного инструментария отдельных отраслей наук – технических или гуманитарных. По мнению автора, подход, который должен обеспечить достижение поставленных целей и задач, должен быть междисциплинарным.

В результате существующие методики имеют ограниченную область применения – они подходят лишь для выявления, обработки и анализа контента локального значения. Противодействие в явном виде оказывается в реактивном виде самому контенту, а не его источнику и причинам его возникновения. Значимым недостатком рассматриваемых методов с точки зрения уровня оперативности реакции является их ретроспективность. С другой стороны, анализ активности пользователей в сети или информационных системах может помочь выявлять устойчивые тенденции в определенных процессах и строить прогнозные модели.

В современных условиях общество формирует огромные объемы фиксируемых данных. При этом отсутствует приемлемое сочетание технической и ресурсной возможностей производить их сбор, обработку и анализ как отдельных сообщений. Тем не менее многие агенты, среды, сообщества и системы, а в конечном счете – общественные институты заинтересованы в проведении обозначенных мероприятий. Однако проводить их нужно на основе системного восприятия протекающих в обществе процессов. Таким образом, исследователь должен переходить к анализу информационных кластеров, фактически являющихся эмпирическими данными для описания существующих и формирующихся процессов.

Классификация субъектов информационного взаимодействия

В методиках работ, имеющих достаточную опору на эмпирические данные, в том числе в областях знаний, не связанных с выявлением деструктивного взаимодействия [15, 16], может проводиться моделирование состава системы и некоторых индикаторов, а также ее структуры. В некотором смысле такая система может пониматься авторами как замкнутая.

Предлагаемая в рамках настоящей работы методика имеет основной целью выявление и прогнозирование формирующихся на разных уровнях общества процессов. Анализ данных является задачей, подчиненной обозначенной цели. При этом любая система не может рассматриваться как «вещь в себе» – она ведет взаимодействие с другими системами. Таким образом, данные рассматриваются на основе ***сетевого*** принципа их генерации, диффузии и использования. Их анализ должен давать возможность моделирования рассматриваемого объекта (процесса) не по отдельным сообщениям и документам, а по общему вектору движения определенной системы.

Проведенный анализ обозначает разрывы в рассматриваемых выше подходах, описывающих понимание роли и значения процессов воздействия, протекающих в обществе. Необходимость более глубокого понимания природы выявленных разрывов выводит на передний план задачу классификации объектов информационного воздействия.

Выделим ***основной принцип классификации субъектов информационного взаимодействия*** – *сквозной характер влияния информации на среду существования систем* различного уровня. Автором предлагается следующая классификация объектов информационного воздействия (таблица).

При структурировании систем, оказывающих воздействие, можно выделить ***функции систем***. На данном уровне общественная система вырабатывает идеологию, т.е. цели и смыслы своего функционирования в рамках объективно сложившихся в обществе процессов. Благодаря идеологии соответствующий общественный институт задает вектор движения системы, а значит, и оказывает существенное влияние на информационное пространство, фактически формирует его.

На более низком уровне обобщения выделяются ***процессы, реализующие функции системы***. В результате, в соответствии с идеологической моделью, формируются социально-экономические кластеры. В свою очередь, осуществляя коммуникацию, они в конечном счете вырабатывают «правила игры» – институты [1] и на их основе создают информационные кластеры.

Наконец, на практическом уровне анализа рассматриваемые процессы реализуют ***«Облако» организаций и пользователей***, являющихся непосредственными исполнителями – агентами систем. Они генерируют единичную информацию в рамках своих систем.

Предложенная классификация имеет системный характер, т.е. распространяется на макро-, мезо- и микроуровни информационного воздействия. Это подтверждается тем, что «облако» организаций и пользователей реализует принятые на себя функции **на разных уровнях**. Причем отдельные организации и пользователи могут участвовать в реализации процессов, относящихся к разным функциям системы.

Классификация субъектов информационного взаимодействия

Уровень реакции на внешние условия	Уровень общественной системы	Институциональная единица	Информационная единица
Функции системы	Идеологическая модель	Институт идеологии	Информационное пространство
Процессы, реализующие функции системы	Социально-экономические кластеры	Общественные институты	Информационные кластеры
«Облако» организаций и пользователей	Отдельные организации и пользователи	Агенты систем	Единичная информация

Из рассматриваемых в первой части настоящей работы группы источников [1–3[относятся к анализу единичной информации, генерируемой, распространяемой и используемой «облаком» организаций и пользователей. Работа, посвященная ***моделированию эпидемических информационных процессов***, до некоторой степени, поднимается на уровень информационных кластеров, а значит, может иметь потенциал применения при анализе протекающих в обществе процессов. В свою очередь работы, ***моделирующие процессы политических пертурбаций***, претендуя на анализ информационных кластеров лишь в небольшой степени, применяют инструментарий анализа данного уровня, фактически оставаясь на уровне анализа Единичной информации.

Заключение

Описание процесса автоматизированного сбора данных, их обработки и анализа безусловно необходимо для проверки работоспособности гипотез, выдвигаемых в рамках настоящей работы. В рамках продолжения работ по данной тематике на следующем этапе планируется осуществлять первичное моделирование цепочки генерации, диффузии воздействующего контента и реакции на него агентов различных систем. В качестве ключевых слов будут использованы «экстремизм» и «радикализация». Это поможет выявить субъекты взаимодействия и в конечном счете один из значимых общественных процессов.

Сразу хотелось бы уточнить – причины радикализации и экстремизма, безусловно, в сочетании множества различных факторов, каждый из которых по отдельности может не дать соответствующего эффекта – перехода определенной системы в новое качество.

Важное замечание – данный подход является универсальным и может быть актуален не только для выявления экстремизма, но также и для анализа данных о других общественных процессах.

Автор не претендует на бесспорность **предложенной классификации**, однако она уже сейчас может быть использована как рабочий инструмент анализа обозначенных выше данных.

Литература

1. Норт Д. Институты, институциональные изменения и функционирование экономики / пер. с англ. А.Н. Нестеренко; предисл. и науч. ред. Б.З. Мильнера. – М.: Фонд экономической книги «Начала», 1997. – 180 с.

2. Тарасенко Ф.П. Прикладной системный анализ: учеб. пособие. – М.: КРОНУС, 2017. – 220 с.

3. Добрынин А.П. Цифровая экономика – различные пути к эффективному применению технологий (BIM, PLM, CAD, IoT, Smart City, Big Data и другие) / А.П. Добрынин, К.Ю. Черных, В.П. Куприяновский // International journal of open information technologies. – 2016. – Т. 4, № 1. – С. 4–11.

4. Лушин Е.А. О термине «электронно-цифровые следы» // Расследование преступлений: проблемы и пути их решения. – 2017. – № 4 (18). – С. 161–163.

5. Поляков В.В. К вопросу об использовании понятий «виртуальные следы» и «электронно-цифровые следы» в криминалистике / В.В. Поляков, А.В. Шебалин // Актуальные проблемы борьбы с преступлениями и иными правонарушениями. – 2013. – № 11–1. – С. 123–125.

6. Указ Президента Российской Федерации № 646 от 5 декабря 2016 г. «Об утверждении Доктрины информационной безопасности». – 2016.

7. Park A.J. Temporal analysis of radical dark web forum users / A.J. Park, B. Beck, D. Fletche, P. Lam, H. Tsang // IEEE/ACM International Conference on Advances in Social Networks Analysis and Mining, ASONAM–2016. – 2016. – Vol. 7752341. – P. 880–883.

8. Xie D. Automated classification of extremist twitter accounts using content-based and network-based features / D. Xie, J. Xuy, T.-C. Lu // Proceedings – 2016 IEEE International Conference on Big Data, Big Data 2016. – 2016. – Vol. 7840895. – P. 2545–2549.

9. Frank R. Sentiment crawling: extremist content collection through a sentiment analysis guided web-crawler // Proceedings of the 2015 IEEE/ACM International Conference on Advances in Social Networks Analysis and Mining, ASONAM–2015. – 2015. – P. 1024–1027.

10. Борзунов К.К. Кибераналитика в обеспечении антикриминальной безопасности // Вопросы кибербезопасности. – 2017. – № 2S(20). – С. 39–44.

11. Остапенко А.Г. Социальные сети и деструктивный контент. Сер.: Теория сетевых войн. – Вып. 3 / А.Г. Остапенко, А.В. Паринов, А.О. Калашников. – М.: Горячая линия – Телеком, 2018. – 276 с.

12. Бубнов А.Ю. Идеологическая карта российского сегмента интернета (на примере классификации националистических сообществ в социальных сетях) // Система ценностей современного общества. – 2015. – № 41. – С. 108–112.

13. Азаров А.А. Стратегии формирования установок протестного поведения в сети Интернет: опыт применения киберметрического анализа (на примере Евромайдана, ноябрь 2013 г.) / А.А. Азаров, Е.В. Бродовская, О.В. Дмитриева, А.Ю. Домбровская, А.А. Фильченков // Мониторинг общественного мнения: экономические и социальные перемены. – 2014. – № 2(120). – С. 63–78.

14. Крибрум: аналитический отчет Ford №4 от 10.04.2016 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: kribrum.ru/analytics/ (дата обращения: 27.12.2018).

15. Bollen J. Clickstream data yields high-resolution maps of science / J. Bollen, H.V. Sompel, A. Hagberg et al. // PLoS ONE. – 2009. – Vol. 4, Iss. 3. – Article number e4803.

Саклаков Василий Михайлович
Аспирант отд. информ. технологий ИШИТР, НИ ТПУ
ORCID: 0000-0003-1716-4581
Эл. почта: saklavas@mail.ru

УДК 004.932.2

Б.В. Ширяев, Д.П. Аргунов, А.В. Безрук

Алгоритм автоматизированного визуального контроля СВЧ МИС на основе искусственной нейронной сети с вычислением средневзвешенного пиксельного расстояния

Работа посвящена разработке алгоритма автоматизированного визуального контроля СВЧ МИС с использованием классификатора на основе искусственной нейронной сети. Расчёт средневзвешенного расстояния классифицированного пикселя микрофотографии СВЧ МИС до области фотошаблона, к которой он классифицирован, позволяет компенсировать ложные срабатывания искусственной нейронной сети.
Ключевые слова: СВЧ МИС, визуальный контроль, искусственная нейронная сеть.

Визуальный контроль при производстве СВЧ МИС заключается в контроле качества изготавливаемых СВЧ МИС по их внешнему виду с использованием специальных оптических приборов [1]. Изготовленная СВЧ МИС по визуальному признаку оценивается в нескольких категориях, наиболее важные из которых точность повторения фотошаблона, качественный анализ поверхностей элементов СВЧ МИС и отсутствие повреждений и загрязнений [2–3]. Визуальный контроль часто выполняется вручную, поэтому данный технологический процесс отнимает много времени и требует значительных усилий со стороны оператора. Автоматизация визуального контроля заключается в создании программного продукта, который ускоряет этот процесс и исключает из него человеческий фактор.

Алгоритм визуального контроля

Исходными данными для алгоритма являются микрофотографии СВЧ МИС, полученные в автоматическом режиме, и файл векторного чертежа фотошаблона СВЧ МИС в формате .dxf [4], который используется при изготовлении СВЧ МИС, изображённых на микрофотографиях.

Алгоритм состоит из четырех функциональных блоков:

1. Совмещение фотошаблона с микрофотографией:

– поиск 2 точек совмещения на микрофотографии СВЧ МИС;

– расчёт масштаба, положения и состояния векторного чертежа фотошаблона;

– растеризация фотошаблона с заливкой слоёв, которые формируют внешний вид СВЧ МИС. Данная операция позволяет определить принадлежность пикселя микрофотографии к определённой области фотошаблона.

2. Преобразование микрофотографии:

– Сквозное выделение области поиска дефектов из микрофотографии и растрированного фотошаблона МИС СВЧ.

– Преобразование выделенной области поиска дефектов микрофотографии СВЧ МИС с использованием классификатора на основе обученной искусственной нейронной сети [5]. Искусственная нейронная сеть является многослойной (рис. 1) и состоит из входного слоя с 3 нейронами (соответствует каналам цветового пространства RGB), одного скрытого слоя с 5–10 нейронами и выходного слоя с количеством нейронов, равным количеству классифицируемых областей фотошаблона. В результате преобразования получается двумерный массив векторов: размер массива соответствует пиксельному размеру области поиска дефектов, размерность вектора соответствует количеству нейронов в выходном слое и, следовательно, количеству классифицируемых областей фотошаблона. Элемент вектора показывает степень принадлежности соответствующего пикселя микрофотографии к определённой области фотошаблона. Искусственная нейронная сеть предварительно обучена методом обратного распространения ошибки для классифицирования цвета пикселя микрофотографии СВЧ МИС к определённой области фотошаблона.

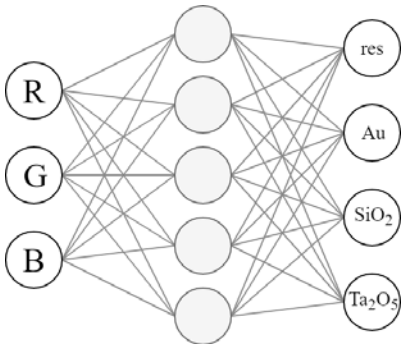


Рис. 1. Пример архитектуры искусственной нейронной сети для классификации пикселей участка микрофотографии СВЧ МИС, содержащий поверхность SiO_2, элементы металлизации, резисторы, конденсаторы на основе Ta_2O_5

– Преобразование каждого вектора полученного массива таким образом, чтобы сумма элементов вектора была равна 1 (сумма степеней принадлежности пикселя микрофотографии к определённой области фотошаблона равна 1) по следующей формуле:

$$\bar{y}' = \frac{1}{\sum y_i} \cdot \bar{y}, \qquad (1)$$

где $\bar{y}$ – исходный вектор степени принадлежности; $\Sigma\bar{y}$ – сумма элементов вектора степени принадлежности; $\bar{y}'$ – преобразованный вектор степени принадлежности. Полученный вектор показывает, на-

сколько исходный пиксель микрофотографии соответствует каждой области фотошаблона.

3. Расчёт средневзвешенного пиксельного расстояния.

– Для каждого пикселя области поиска дефектов микрофотографии СВЧ МИС производится вычисление пиксельного расстояния до ближайшего пикселя каждой области растрированного фотошаблона в соответствии с порядком элементов вектора степени принадлежности (рис. 2).

– Вычисление средневзвешенного расстояния по формуле

$$d = \sum y_i \cdot r_i , \qquad (2)$$

где y_i – элемент вектора степени принадлежности для i-й области фотошаблона; r_i – пиксельное расстояние до ближайшего пикселя i-й области фотошаблона. Результатом данного преобразования получается двумерный массив вещественных значений, каждое из которых характеризует удалённость пикселя микрофотографии от областей фотошаблона – формирование карты дефектности.

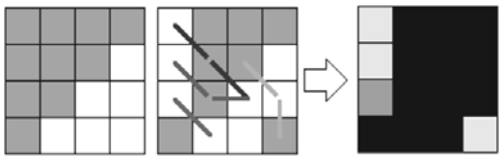


Рис. 2. Пример вычисления пиксельного расстояния классифицированных пикселей участка микрофотографии для одной области растрированного фотошаблона

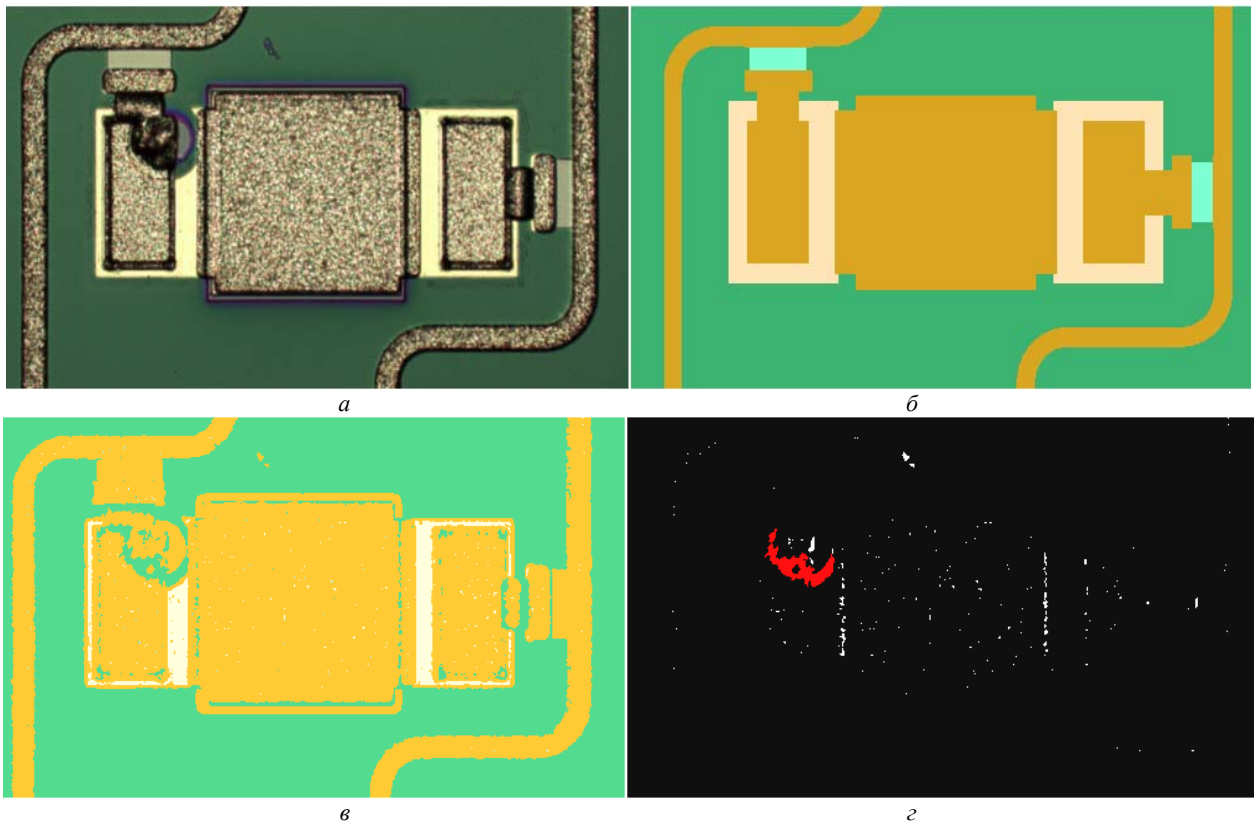
4. Определение наличия дефекта:

– бинарное преобразование карты дефектности с использованием порога детектирования дефектов;

– поиск кластеров связанных элементов карты дефектности, значение которых больше порога детектирования дефектов;

– определение существования кластеров связанных элементов размером больше предельно допустимого размера: если такие кластеры существуют в области поиска дефектов – СВЧ МИС на исходной микрофотографии дефектная.

Пример работы предложенного алгоритма показан на рис. 3.



а *б* *в* *г*

Рис. 3. Пример работы алгоритма автоматизированного визуального контроля на участке микрофотографии СВЧ МИС, содержащем дефект: *а* – исходный участок микрофотографии СВЧ МИС; *б* – участок растрированного фотошаблона, соответствующий участку микрофотографии СВЧ МИС; *в* – преобразованный участок микрофотографии СВЧ МИС с использованием классификатора на основе искусственной нейронной сети; *г* – бинарно преобразованная карта дефектности с выделенным кластером, обозначающим наличие дефекта на участке микрофотографии СВЧ МИС

Заключение

Для проверки описанного выше алгоритма разработан тестовый программный продукт на его основе. Программный продукт позволяет настроить каждый шаг алгоритма автоматизированного визуального контроля, провести автоматизированный и ручной визуальной контроль группы СВЧ МИС по заранее полученным микрофотографиям СВЧ МИС.

Тестирование программного обеспечения в АО «НИИПП» показывает удовлетворительную эф-

фективность и позволяет ускорять визуальный контроль в 2–3 раза.

Литература

1. Груздов В.В. Контроль новых технологий в твердотельной СВЧ-электронике / В.В. Груздов, Ю.В. Колковский, Ю.А. Концевой. – М.: Техносфера, 2016. – 328 с.

2. ГОСТ 20.57.406-81. Комплексная система контроля качества. Изделия электронной техники, квантовой электроники и электротехнические. Методы испытаний. – М.: Стандартинформ, 2005. – 133 с.

3. Test method standard microcircuits [Электронный ресурс]. – Режим доступа: scipp.ucsc.edu/groups/fermi/electronics/mil-std-883.pdf, свободный (дата обращения: 20.05.2019).

4. DXF Reference [Электронный ресурс]. – Режим доступа: images.autodesk.com/adsk/files/autocad_2012_pdf_dxf-reference_enu.pdf, свободный (дата обращения: 20.05.2019).

5. Haykin S. Neural Networks and Learning Machines. – 3-rd Ed. – Pearson, 2008. – 936 p.

Ширяев Борис Владимирович
Аспирант ТУСУРа
Инж.-программист АО «НИИПП»
Эл. почта: shiryaev_bv@niipp.ru

Аргунов Дмитрий Пантелеевич
Аспирант ТУСУРа
Инж.-программист АО «НИИПП»
Эл. почта: argunov_dp@niipp.ru

Безрук Алексей Владимирович
Нач. измерит. уч-ка отд. АО «НИИПП»
Эл. почта: bezruk_av@niipp.ru

УДК 621.396.41

Р.А. Василенко, О.С. Жабин

Создание автоматизированной системы для управления вращением антенн

Рассмотрен вариант решения проблемы управления вращением направленных антенн с нескольких рабочих мест. Предлагаемый способ основан на использовании контроллера Arduino, который отвечает за поворот выбранной антенны.

Ключевые слова: Arduino, направленные антенны, радиоспорт на КВ, поворотные устройства.

В 1902 г. английские ученые Кеннеди и Хевисайд предположили, что в атмосфере существует слой, который отражает радиоволны, иными словами, ионизированная область.

Немалую роль в изучении данного явления сыграли радиолюбители, которые при помощи маломощных передатчиков, работающих в коротковолновом диапазоне, устанавливали радиосвязи на достаточном расстоянии друг от друга.

Спустя несколько лет после разработки теории преломления радиоволн в ионосфере началось исследование распространения радиоволн КВ-диапазона под руководством М.А. Бонч-Бруевича в Нижнем Новгороде [1]. А уже в 1929 г. при Томском университете была впервые осуществлена коротковолновая связь между движущимся судном и неподвижными береговыми радиостанциями.

Для популяризации и развития радиосвязи радиолюбители стали образовывать радиолюбительские союзы. В 1925 г. образовался Международный радиолюбительский союз (IARU), штаб-квар-тира которого расположена в Ньюингтон, США. В свою очередь, на территории СССР был образован Центральный радиоклуб СССР. После распада СССР на территории РФ радиоклуб был преобразован в Союз радиолюбителей России. Со временем установление радиосвязей приобрело спортивный характер, что в конечном итоге привело к созданию радиоспорта [2].

Радиоспорт – технический вид спорта, включающий различные комплексные соревнования с использованием радиоаппаратуры приема и передачи в сочетании с общефизическими упражнениями [3].

В настоящее время он включает в себя следующие спортивные дисциплины:

– скоростную радиотелеграфию (СРТ);

– спортивную радиопеленгацию;

– радиосвязь на коротких волнах (КВ) и ультракоротких волнах (УКВ);

– радиомногоборье.

Радиосвязь на КВ – соревнования среди операторов и команд операторов любительских радиостанций по проведению радиосвязей в диапазоне коротких волн (КВ), значения радиочастот которых не превышают 30 МГц (диапазоны 1,8; 3,5; 7,0; 14; 21 и 28 МГц).

При проведении данных соревнований каждый участник в течение установленного правилами соревнования времени с использованием разрешённых технических средств (приемопередающая аппаратура, антенны, вспомогательное оборудование) устанавливает двухсторонние радиосвязи с другими участниками (корреспондентами).

Для того чтобы участник успешно проявил себя в соревнованиях по радиосвязи на КВ, он должен:

– иметь знания и опыт в области радиотехники, а именно: монтаж оборудования для приема и передачи, антенно-фидерных линий и устройств, а также уметь возводить антенно-мачтовые конструкции;

– обладать навыками оператора радиостанции: владеть навыками ведения радиообмена, управлять средствами связи, знать и уметь принимать и передавать радиосообщения с использованием кода Морзе;

– иметь терпение и выдержку;

– иметь возможность оборудовать, содержать и улучшать свою технику связи.

Отсюда следует вывод, что успешный результат в соревнованиях по радиоспорту на коротких волнах зависит не только от мастерства и умений самого оператора, но и от технического оснащения радиостанции. Одним из ключевых аспектов технического оснащения радиостанции являются антенны, которые предназначены для приема и передачи радиоволн.

Широкую популярность получила антенна Уда–Яги, названная в честь своих изобретателей Синтаро Уда и Хидэцугу Яги. В некоторых источниках называется «волновой канал» [4]. Данная антенна имеет узконаправленную диаграмму распространения электромагнитной волны, высокий коэффициент усиления, компактность, простоту в изготовлении, небольшую массу, а как следствие, лучшее качество передачи и приема радиосигналов от корреспондента, находящегося в направлении действия антенны. Антенну применяют на диапазонах, начиная с коротких волн, в диапазонах метровых и дециметровых волн и на более высоких частотах. На рис. 1 приведена диаграмма направленности антенны Яги–Уда.

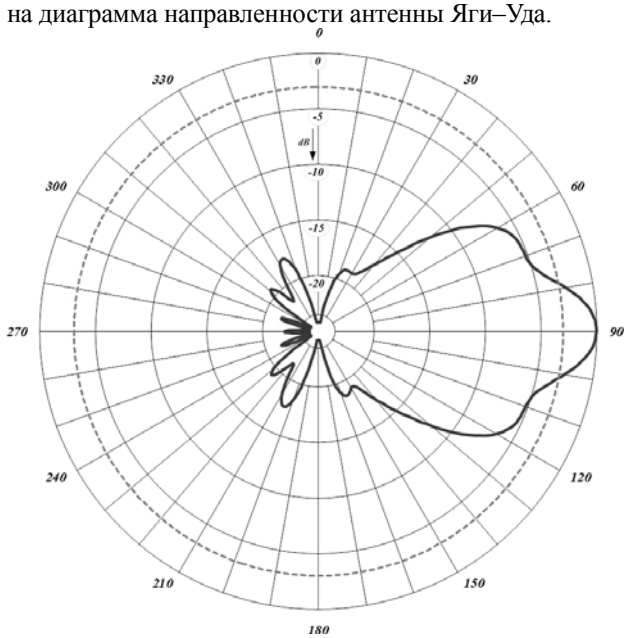


Рис. 1. Диаграмма распространения электромагнитной волны направленной антенны

В то же время узкая диаграмма направленности антенны является и её недостатком. Если корреспондент, расположенный за пределами диаграммы направленности, захочет установить радиосвязь, то вероятность принять его сигнал резко падает. В связи с чем появились устройства поворота таких антенн. Поворотное устройство – один из элементов конструкции антенны, благодаря которому обеспечивается необходимый угол поворота антенны, т.е., поворачивая антенну, изменяют азимут распространения электромагнитной волны. Данное устройство состоит из двигателя, который поворачивает антенну, и пульта управления двигателем.

Большинство индивидуальных и коллективных радиостанции имеют несколько антенн Яги–Уда для различных диапазонов частот. Для одного рабочего места не составляет проблем расположить пульты управления поворотом антенн рядом и управлять всеми антеннами, то для нескольких рабочих мест такое управление становится проблематичным.

На современном рынке радиолюбительской техники готовых устройств для решения данной задачи нет, поэтому было решено создать систему для управления поворотом антенн, которые находятся в распоряжении радиостанции, с любого рабочего места.

Исходя из вышеизложенного, было разработано и реализовано устройство для управления поворотом антенн с нескольких рабочих мест с использованием контроллеров Arduino Nano и Arduino Mega. Структурная схема разработанного устройства приведена на рис. 2.

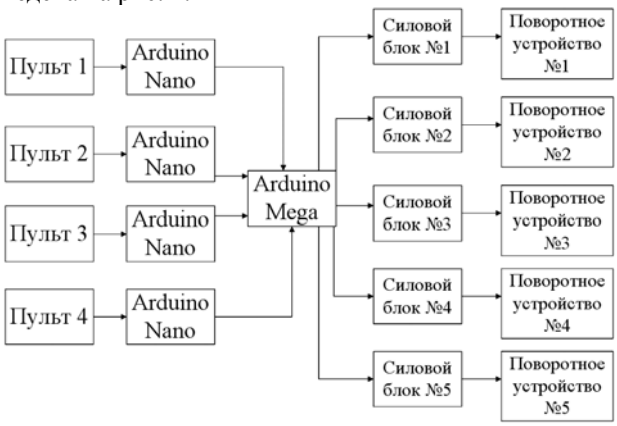


Рис. 2. Блок-схема связи рабочих пультов и поворотных устройств

Данные контроллеры были выбраны из-за того, что они имеет низкую стоимость, кроссплатформенны, а также имеют простую и понятную среду программирования и возможность работы в автономном режиме [5].

Достоинства такого подключения заключаются в том, что для всех Arduino Nano используется одна программа, используя которую, можно легко добавлять, убирать поворотные устройства антенн или пульты рабочих мест. Из недостатков можно отметить, что длина соединительных проводов от Arduino Mega (центральный блок) до пультов и поворотных устройств может быть большой, а это влечет за собой влияние наводок на стабильную работоспособность системы. Для решения данной проблемы связь между пультом управления и центральным блоком (ЦБ) осуществляется с помощью витой пары, которая содержит индивидуальные экраны из фольги для каждой пары, а также общий экран [6].

При этом необходимо учесть, что управление одной антенной осуществляется только одним рабочим местом, т.е. необходимо было запрограммировать взаимную блокировку, чтобы два и более рабочих места не могли одновременно управлять вращением одной антенны.

Ответственной программируемой частью данной системы является контроллер Arduino Mega. Его главная задача – коммутировать пульты поворотными антенными устройствами с соблюдением ряда ограничений:

– нельзя включать реле влево и вправо одновременно у одной и той же антенны;

– если пульт не принял команду «сброс выбранной антенны» и начинает посылать команды поворота, то игнорирует их, при этом снова посылая команду «сброс выбранной антенны».

На рис. 3 представлена блок-схема работы центрального блока.



Рис. 3. Блок-схема центрального блока

Каждый пульт содержит клавиши выбора антенн, индикацию выбранной антенны, а также клавиши вращения влево или вправо (рис. 4).

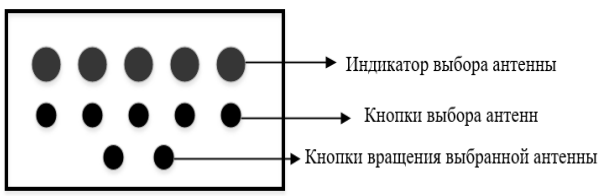


Рис. 4. Структурная схема пульта у рабочего места

На рис. 5 приведена блок-схема работы пульта.

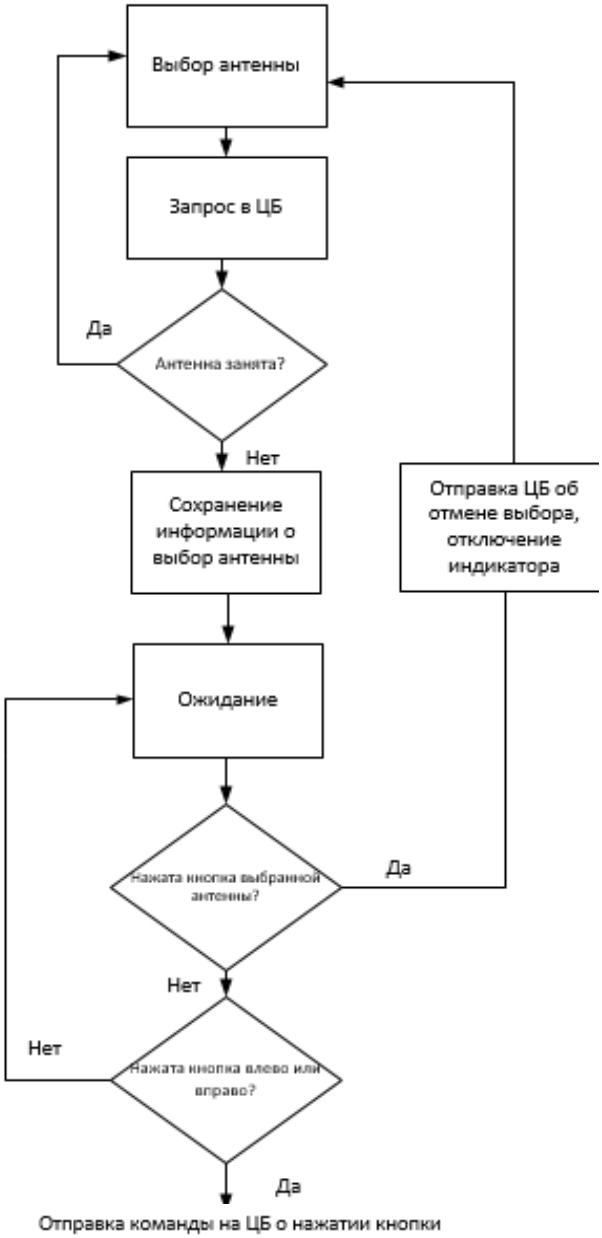


Рис. 5. Блок-схема работы программы пульта рабочего места

Алгоритм работы пульта у рабочего места следующий: удерживая клавишу нужной антенны около 3 с, загорается индикатор выбранной антенны, одновременно с этим отправляется запрос в центральный блок о занятости выбранной антенны другим пультом. В случае если антенна была занята ранее, то центральный блок посылает команду «сброс выбранной антенны» обратно в пульт рабочего места и индикатор выбранной антенны отключается. А если антенна не занята другим рабочим местом, то информация о ней сохраняется в памяти пульта, а центральный блок разрешает управление выбранной антенной. В то же время пульт не позволит выбрать еще одну антенну для управления, а также при одновременном зажатии клавиш влево/вправо пульт прекращает отправку пакетов ин-

формации центральному блоку, в свою очередь ЦБ сохраняет выбранную антенну и не дает управление другим рабочим местам. Чтобы отменить выбор антенны в памяти устройства, необходимо нажать клавишу выбранной антенны в течение одной секунды. Данная задержка введена для предотвращения нежелательных последствий случайных нажатий кнопок пульта.

Силовой блок представляет собой набор реле, которые замыкают или размыкают цепи в поворотных устройствах в зависимости от тока, подающегося с Arduino Mega. Структурная схема приведена на рис. 6.

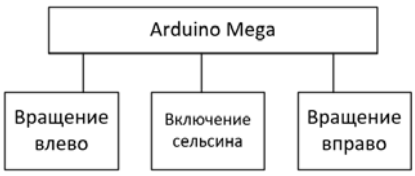


Рис. 6. Структурная схема взаимодействия центрального и силового блоков

Между реле вращении встроена логическая схема на тот случай, если нештатно центральный блок подаст одновременно напряжение на реле влево/вправо. В этой ситуации реле разомкнутся.

Заключение

В статье рассмотрен способ согласования нескольких направленных антенн для автоматизации радиостанции во время соревнований по радиоспорту. Данная система подходит индивидуальным радиолюбителям и коллективным радиостанциям.

В дальнейшем планируется совершенствование данной системы для удаленного управления с помощью интернета.

Литература

1. Григорьев Н.Д. «Новый коминтерн» Бонч-Бруевича // Мир транспорта. – 2013. – Т. 11, № 1. – С. 168–175.

2. Заморока А.Н. Основы любительской радиосвязи. – Хабаровск, 2009. – 166 с.

3. Калинина А.Д. Отечественный радиоспорт. современное состояние и перспективы развития // Матер. II Всерос. науч.-практ. конф. – М.: РУДН, 2016. – С. 42–45.

4. Шейко В.П. Антенны любительских радиостанций. – М.: ДОСААФ, 1962. – С. 48–58.

5. Ивель В.П. Использование платформы Ардуино Мега 2560 для управления двухдвигательной системой вращением крупногабаритных объектов / В.П. Ивель, Ю.В. Герасимов // Наука и мир. – 2014. – Т. 1, № 4. – С. 86–89.

6. Нигматуллин В.Р. Робототехника / В.Р. Нигматуллин, А.В. Фахретдинов, С.С. Байгильдин, Г.Г. Ахмедьянов // Наука, техника и образование. – 2019. – № 3. – С. 32–34.

Василенко Роман Александрович
Студент радиофизического факультета НИ ТГУ
Эл. почта: rc9hb@mail.ru

Жабин Олег Сергеевич
Студент радиофизического факультета НИ ТГУ
Эл. почта: rc9hc@mail.ru.

Секция 16

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ОБУЧЕНИИ

*Председатель секции – **Дмитриев Вячеслав Михайлович**, профессор каф. КСУП, д-р техн. наук*

УДК 378.16

Л.Н. Андрийчук, В.А. Семиглазов

Применение 3D-технологий в школьной образовательной среде

Исследовано внедрение 3D-технологий в образовательный процесс в рамках проекта по созданию студентами направления подготовки 43.03.01 «Информационный сервис» электронного курса в сфере 3D-технологий.
Ключевые слова: 3D-технологии, 3D-ручка, образовательная среда, информационные технологии.

Привычные современному человеку сферы жизни с каждым годом все больше интегрируют в себе высокие технологии, иначе говоря, мультимедийные, интерактивные, мобильные, 3D-технологии и др. создали «digital мир» с новыми видами коммуникаций, способами получения знаний и не только.

Если затрагивать сферу образования, то можно сказать, что для большинства таких учреждений цифровая среда уже стала привычной. При рассмотрении школьной образовательной среды следует обратиться к исследованиям и статистике.

По данным различных источников, более 95% современных российских школьников обладают высокотехнологическими гаджетами (ПК, планшеты, смартфоны, обеспечивающие круглосуточный доступ к сети Интернет).

Например, в прошлом году в рамках своего проекта одна из студенток Тульского педагогического университета Екатерина Кудинова провела исследование, направленное на выявление степени влияния гаджетов на учеников 11-го класса одной из областных школ. Результаты показали, что 78% школьников в буквальном смысле не выпускают смартфоны из рук в течение дня. Именно поэтому можно говорить, что современным учащимся школ гораздо проще, привычнее и интереснее работать в высокотехнологичной среде, и данный фактор является одним из ключевых при принятии решения о внедрении информационных технологий в процесс обучения. Кроме того, высокая скорость развития технологической среды создает жесткие условия в борьбе за привлечение и удержание внимания учеников к процессу обучения. Современным трендом в образовательных технологиях, отвечающим всем требованиям и обладающим огромным потенциалом, являются 3D-технологии.

В рамках группового проектного обучения, а также выпускных квалификационных работ студентов ТУСУРа по профилю подготовки «Информационный сервис» были разработаны и внедрены (подтверждено актами внедрения) обучающие коммерческие онлайн-курсы в сфере аддитивных технологий и 3D-сканирования. Кроме того, были созданы очные программы обучения, которые, как и электронные курсы, основаны на учебно-методических пособиях, разработанных в ходе создания и реализации проектов. В том числе был разработан курс «Методика обучения моделирования 3D-ручкой». В процессе создания курса были также проведены исследования, отражающие использование 3D-ручки в сфере образования, то есть непосредственно при работе с детьми [1].

Изучение современного образовательного процесса показало, что наиболее перспективными являются следующие способы внедрения 3D-ручки в образовательную среду:

1. Проведение интерактивных занятий и визуализации в рамках отдельных предметов, включенных в программу (построение 3D-моделей объектов, отдельных деталей в разных областях знаний).

2. Проведение элективных занятий и кружков, относящихся к предметам, включенным в программу, с использованием 3D-ручки (например, создание 3D-моделей исторических битв и сооружений, биосистем и т.п.).

3. Проведение уроков по работе с 3D-ручкой в качестве дополнительных занятий, элективных курсов, кружков и т.п. (обучение работе с 3D-ручкой с нуля от построения 2D-моделей до полного освоения 3D-моделирования разноплановых моделей с помощью ручки).

Что касается преимуществ 3D-технологий в образовании, то, бесспорно, в эту категорию можно отнести возможность разнообразить уроки, визуализацию и повышение эффективности образовательного процесса. 3D-ручка позволяет не только наглядно объяснять ученикам школьную программу, но и дает возможность самостоятельно научиться работать с таким оборудованием, а также найти применение при создании и реализации собственных проектов.

Если более детально погрузиться в преимущества использования 3D-ручки в образовательном процессе, то можно выделить следующие:

1. Визуализация различных тем школьной программы, что помогает ученикам лучше понимать изучаемый материал и привлекает внимание к процессу обучения.

2. Включение 3D-моделей процессов и объектов в традиционные способы обучения вносит инновацию в «рутинный» процесс обучения, повышает мотивацию к обучению.

3. Облегчение систематизации знаний.

4. Способствование усвоению большего объема информации, что положительно сказывается на результатах тестов и экзаменов.

Кроме того, использование 3D-ручки в образовательном процессе – первый этап внедрения 3D-технологий в школьную образовательную среду. Если рассматривать появление аддитивных технологий и 3D-сканирования в качестве отдельной образовательной ветви, интегрируемой в учебный процесс, то 3D-ручка больше подходит для работы с детьми 1–4-х классов. Что касается использования 3D-оборудования в образовательном процессе в средней и старшей школе, то рынок 3D-технологий предлагает следующее: 3D-печать и 3D-сканирование, 3D-прототипирование.

Предлагаемая программа обучения представлена в таблице.

Программы использования 3D-технологий в образовательном процессе

Класс	Наименование программы	Описание программы
1–4-й (начальная школа)	Моделирование 3D-ручкой	Занятия включают в себя освоение базовых знаний, необходимых для начального этапа владения 3D-ручкой, а также по технике безопасности при эксплуатации, по расходным материалам. Приобретение навыков по 2D-моделированию и 3D-моделированию путем сборки 2D-деталей, а также по более сложным техникам рисования и изготовления изделий [2]
5–9-й (средняя школа)	3D-печать и 3D-сканирование	Занятия включают в себя освоение базовых знаний, необходимых для владения 3D-принтером и 3D-сканером, а также по технике безопасности при эксплуатации, по расходным материалам. Приобретение навыков по 3D-сканированию и печати, а также получение знаний и навыков по использованию соответствующего программного обеспечения [3]
10–11-й (старшая школа)	3D-прототипирование	Занятия включают в себя освоение базовых знаний, необходимых для 3D-прототипирования, владения оборудованием, используемым в данной области, и получение знаний и навыков по использованию соответствующего программного обеспечения [4]

Гладя на таблицу можно отметить, что получаемые навыки, знания и умения подобраны под общий уровень знаний и возраст учеников, а также учтена возможность освоения данных программ.

Но при внедрении 3D-технологий в образовательный процесс встает проблема обучения и повышения квалификации персонала, а именно преподавателей. Для возможности преподавать предметы, связанные с использованием 3D-технологий, учителям необходимо получение новых знаний, подтвержденных сертификатом установленного образца. Кроме того, подобное обучение на сегодняшний день отсутствует на российском рынке вообще либо присутствует в формах, недопустимых для повышения квалификации преподавателей. Но компания 3D CORP совместно со студентами ТУСУРа по профилю подготовки «Информационный сервис» решила данную проблему путем совместной работы над созданием учебно-методических материалов, очных курсов повышения квалификации, а также онлайн курсов повышения квалификации по необходимым направлениям. Успешное прохождение таких курсов завершается вручением сертификата установленного образца.

Также стоит отметить, что в рамках проведенной работы было предложено оборудование для 3D-моделирования, 3D-сканирования и 3D-печати, наиболее оптимально подходящее для использования в таких образовательных учреждениях, как школа.

Выбор оборудования производился методом SWOT-анализа, в ходе которого были учтены различные факторы: скорость печати, используемые материалы, размеры оборудования, технические характеристики, стоимость и др. По результатам анализа среди 3D-ручек были выделены следующие:

– FUNTAS-TIQUE ONE;

– MyRiwell RP100C.

Приведенные модели оборудования в ходе анализа получили наибольший коэффициент конкурентоспособности, что говорит о их преимуществе относительно предлагаемой среды использования.

Среди 3D-принтеров тем же методом были отобраны следующие:

– 3D-принтер Anet A6;

– 3D-принтер Da Vinci Nano;

– 3D-принтер Anycubic Mega-S;

– 3D-принтер Zenit DUO.

Что касается 3D-сканеров, то относительно данного вида 3D-оборудования также был проведен SWOT-анализ, по результатам которого для такой среды, как школа, был предложен следующий перечень оборудования:

– 3D-сканер Shining 3D Einscan S;

– 3D-сканер Shining 3D Einscan SE;

– 3D-сканер 3D Systems Sense Next Gen;

– 3D-сканер XYZPrinting 3D Hand Scanner 2.0.

Обобщая результаты проделанной работы, можно сказать, что внедрение 3D-технологий в образовательный процесс – простой и доступный способ внести информационные технологии в обучение школьников, действительно повышающий качество образования, интерес учащихся, а также внедрение современных способов преподавания – еще одна возможность создания дополнительного образова-

ния на базе школы, а не других образовательных учреждений. Разумеется, при внедрении данных технологий в образовательное учреждение появляется преграда в виде ряда проблем: необходимость структурированной программы, обучение персонала, выбор оборудования. Но в рамках группового обучения и выпускных квалификационных работ студентов ТУСУРа направления «Информационный сервис» были предложены решения относительно возникающих задач.

Литература

1. Андрийчук Л.Н. Создание электронных курсов в системе дистанционного обучения MOODLE студентами направления «Информационный сервис» как средство повышения качества образования / Л.Н. Андрийчук, О.С. Конарева, В.А. Семиглазов // Матер. межд. науч.-метод. конф. «Современное образование: качество образования и актуальные проблемы современной высшей школы»: Электронная информационно-образовательная среда вуза как инструмент повышения качества образования. – Томск: Изд-во ТУСУРа. – 2019. – С. 104–105.

2. Андрийчук Л.Н. Создание электронных курсов в системе дистанционного обучения MOODLE студентами направления «Информационный сервис», как перспектива развития группового проектного обучения / Л.Н. Андрийчук, О.С. Конарева, В.А. Семиглазов // Матер. межд. науч.-метод. конф. «Современное образование: качество образования и актуальные проблемы современной высшей школы»: Электронная информационно-образовательная среда вуза как инструмент повышения качества образования. – Томск: Изд-во ТУСУРа, 2019.– С. 105–107.

3. Иванова Е.В. Разработка учебно-тематического плана программы ДПО «3D-сканирование. Обработка изображения после сканирования» / Е.В. Иванова, О.Д. Ильина, А.О. Тамарова // Научная сессия ТУСУР–2018: матер. междунар. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых. – Томск: В-Спектр, 2018. – Т. 1. – С. 132–134.

4. Пельменёва К.В. Разработка программ повышения квалификации «2d- и 3d-моделирования» // Научная сессия ТУСУР–2018: матер. Междунар. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых. – Томск: В-Спектр, 2018. – Т. 1. – С. 148–149.

5. Андрийчук Л.Н. Выбор оборудования для 3D-моделирования методом количественного SWOT-анализа / Л.Н. Андрийчук, О.С. Конарева // Научная сессия ТУСУР–2019: матер. междунар. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых. – Томск: В-Спектр, 2019. – Т. 1. – С. 69–72.

Андрийчук Ляна Николаевна
Студентка каф. УИ ТУСУРа
Эл. почта: lyana.andrii4uck@yabdex.ru

Семиглазов Вадим Анатольевич
Канд. техн. наук, доцент каф. ТУ ТУСУРа
Эл. почта: cpp.tu@mail.ru

УДК 378.147

А.В. Баранов, И.Д. Мурамщиков, Н.А. Скрынник

Проектная разработка виртуальной лабораторной работы с 3D-визуализацией движения гироскопа

Демонстрируется пример разработки интерактивной виртуальной лабораторной работы «Прецессия и нутация гироскопа». Разработка выполнена студентами второго курса в процессе организованной проектной деятельности на кафедре общей физики технического университета.
Ключевые слова: виртуальные лабораторные работы, проектное обучение, компьютерное моделирование физических процессов, компетенции студентов ИТ-направлений.

В современных технических университетах технологии организации электронного обучения физике все шире используют виртуальные лабораторные работы и виртуальные лаборатории [1]. Работа студентов с ними дополняет реальный эксперимент и значительно расширяет дидактические возможности процесса обучения. Компьютерные эксперименты, в частности, позволяют исследовать визуализированные версии математических моделей процессов, не наблюдаемых непосредственно, анализировать быстрые и медленные процессы. Педагогические исследования констатируют более глубокое понимание физики студентами групп, в которых для организации лабораторных занятий преподаватели используют сочетание виртуальных и реальных экспериментов [2]. Актуальным для технических университетов является вопрос о вовлечении студентов в деятельность компьютерного моделирования физических процессов и разработку специализированного образовательного контента вуза [3, 4]. Перспективной формой организации такой деятельности является проектная форма. Как показывает опыт, ориентированная на будущую профессию проектная деятельность позволяет формировать ключевые компетенции студентов на ранней стадии обучения в университете.

На кафедре общей физики НГТУ НЭТИ для студентов ИТ-направлений организована проектная деятельность компьютерного моделирования физических систем и процессов. Одним из направлений этой деятельности является программная разработка студентами интерактивных виртуальных лаборатор-

ных работ**,** находящих своё применение в практикуме кафедры и в информационной образовательной среде университета [5–7].

В соответствии с целями и этапами проектной деятельности компьютерного моделирования определяются задачи, решаемые разработчиками в процессе работы над проектами [6]:

1. Формулировка концептуальной физической модели.
2. Математическая формализация модели и выбор метода.
3. Определение структуры графического интерфейса.
4. Определение дизайна 3D-изображения объектов главного окна.
5. Определение структуры программного алгоритма.
6. Разработка и отладка программы.
7. Проведение тестовых виртуальных экспериментов.
8. Отчет и презентация разработки.

В качестве примера выполненного проекта рассмотрим виртуальную лабораторию «Прецессия и нутация гироскопа», реализованную в весеннем семестре 2019 г. И.Д. Мурамщиковым и Н.А. Скрынником – студентами второго курса факультета прикладной математики и информатики НГТУ НЭТИ. Реальным прототипом для проекта послужила экспериментальная установка «Гироскоп» лабораторного практикума по физике фирмы 3B Scientific.

В качестве модели движения гироскопа в проекте анализировалось движение однородного диска на центральной оси. При моделировании нутации и прецессии не учитывались масса оси, трение в точке крепления оси, а также сопротивление воздуха. Для получения дифференциальных уравнений движения студенты использовали метод Лагранжа, самостоятельно освоив его с использованием литературных источников. Для численного интегрирования уравнений движения в разработанной программе использовался метод Рунге–Кутты 4-го порядка точности.

Разработчики выполнили проект на объектно-ориентированном языке программирования C++17, основываясь на том, что создание виртуальной интерактивной лаборатории предполагает организацию объектного моделирования движений и взаимодействий реальных объектов-прототипов. 3D-модель виртуальной установки была реализована в графическом редакторе Blender 3d версии 2.80, экспортирована из него в виде obj файлов и файлов с текстурами. Графика и интерфейс программного продукта были реализованы с помощью кроссплатформенного фреймворка Qt версии 5.12.4.

На рис. 1 изображено главное окно графического интерфейса разработанного программного продукта. В главном окне содержатся:

• строка главного меню с кнопками для выхода из виртуальной лаборатории для просмотра графиков, справки, руководства пользователя и информации о разработчиках;

• 3D-анимационное изображение моделируемой физической систем;

• элементы управления (кнопки, слайдеры);

• элементы индикации (таймер).

Разработанная программа включает в себя дополнительные окна с заставкой, теоретической справкой, руководством пользователя, информацией о разработчиках проекта и графиками.

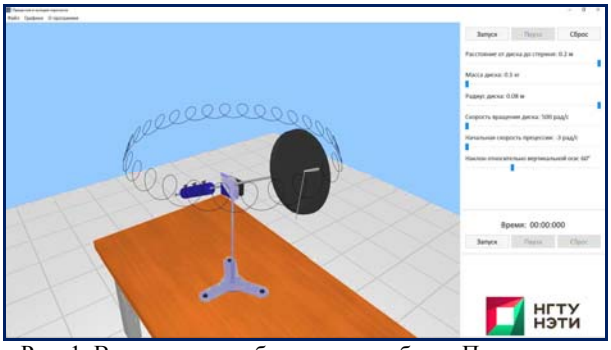


Рис. 1. Виртуальная лабораторная работа «Прецессия и нутация гироскопа»

Программный интерфейс позволяет изменять значения основных параметров виртуальной установки: расстояние до диска, массу и радиус диска, угловую скорость вращения диска, наклон оси гироскопа. Кнопки «Запуск», «Пауза» и «Сброс» соответственно запускают и приостанавливают процесс, сбрасывают параметры установки. Наличие виртуального таймера дает возможность определять текущее время. Движение гироскопа динамически отображается в окне и дополнительно сопровождается изображением траектории конечной точки гироскопической оси.

Данная программная разработка может использоваться как лекционная демонстрация и как виртуальная лабораторная работа по теме «Динамика вращательного движения». Подобные разработки студентов хорошо дополняют реальные физические эксперименты лабораторного практикума технического университета. В частности, они позволяют студентам в режиме удаленного доступа работать с виртуальными аналогами реальных установок.

Заключение

Приведенный пример разработки виртуальной лабораторной работы демонстрирует возможности проектного метода обучения студентов ИТ-направлений технического университета в процессе освоения курса физики. В результате организованной комплексной проектной деятельности студенты осваивают ряд компетенций общего и профессионального характера. Значимым результатом для разработчиков является опыт создания реального программного продукта, который находит свое практическое применение в учебном процессе.

Литература

1. Девяткин Е.М. Технология организации электронного обучения физике // Современные наукоемкие технологии. – 2018. – № 1. – С. 77–82.

2. De Jong T. Physical and Virtual Laboratories in Science and Engineering Education / T. De Jong, M.C. Linn, C.Z. Zacharia //Science. – 2013. – Vol. 340, Iss. 6130. – P. 305–308.

3. Prensky M. Students as Designers and Creators of Educational Computer Games: Who else? // British Journal of Educational Technology. – 2008. – Vol. 39, № 6. – P. 1004–1019.

4. Третьякова О.Г. О разработке варианта использования информационных технологий в преподавании физики в техническом вузе // Физическое образование в вузах. – 2010. – Т. 16, № 1. – С. 69–81.

5. Баранов А.В. Проектная разработка виртуальных лабораторных работ по физике для электронной среды обучения // Единая образовательная информационная среда: направления и перспективы развития электронного и дистанционного обучения: матер. IX Междунар. науч.-практ. конф.-выставки. – Новосибирск, 2010. – С. 71–73.

6. Баранов А.В. Проектная деятельность компьютерного моделирования в физическом практикуме технического университета: организация, требования, критерии оценки // Инновации в образовании. – 2016. – № 10. – С. 158–170.

7. Баранов А.В. Метод виртуальных проектов при изучении основ квантовой механики в техническом университете // Физическое образование в вузах. – 2010. – Т. 16, № 4. – С. 26–34.

Баранов Александр Викторович
Канд. физ.-мат. наук, доцент каф. общей физики НЭТИ
Эл. почта: baranov@corp.nstu.ru

Мурамщиков Игорь Дмитриевич
Студент ф-та прикладной математики и информатики НЭТИ
Эл. почта: igor.muram@gmail.com

Скрынник Никита Александрович
Студент ф-та прикладной математики и информатики НЭТИ
Эл. почта: nikita.nstu@gmail.com

УДК 37.041

А.К. Бреева, Н.Е. Мельникова, Д.В. Кручинин

Автоматизированная система по математике, адаптированная для людей с нарушениями слуха

Представлено описание созданной автоматизированной системы для подготовки к ЕГЭ по математике базового уровня, адаптированной для людей с нарушениями слуха. Основными особенностями данной системы являются гибкая система проверки ответов с возможностью вывода подробных отзывов в зависимости от введенного ответа и полный перевод текстов заданий, алгоритмов, решений и отзывов на русский жестовый язык.
Ключевые слова: тренажер, курс выравнивания, люди с нарушениями слуха, ЕГЭ по математике.

С каждым годом растет темп жизни и объем знаний, получаемых за год учениками, требования к знаниям при поступлении в вузы тоже увеличиваются. Люди с нарушениями слуха испытывают трудности с усвоением материала из-за языкового барьера. Для них язык математических терминов и формул так же сложен, как иностранный язык для слышащих людей. Зачастую педагоги в школах не владеют в должной степени русским жестовым языком. Школьные знания являются базовыми при обучении в вузах, поэтому их недостаток значительно сказывается на процессе дальнейшего обучения. На данный момент небольшое число людей с проблемами со слухом получают высшее образование. Чтобы повысить уровень знаний и облегчить освоение специальностей в вузах, было решено создать курс выравнивания для подготовки к ЕГЭ по математике базового уровня, так как ЕГЭ – итоговая проверка основных умений, которыми должен овладеть ученик, успешно освоивший школьную программу.

На данный момент в России живут примерно тринадцать миллионов глухих [1], при этом потеря слуха является глобальной проблемой здравоохранения [2]. Согласно прогнозам, при отсутствии соответствующих мер количество страдающих инвалидизирующей потерей слуха в мире к 2030 г. может составить до 630 млн человек; а к 2050 г. их численность может достичь почти 900 млн человек [3]. Более восьмидесяти процентов глухих абитуриентов имеют низкий уровень знаний по математике, а количество глухих, успешно сдавших ЕГЭ, не превышает двадцати процентов. Таким образом, создание системы тренажеров, адаптированных для работы со слабослышащими и глухими, является актуальным решением проблемы.

Описание системы тренажеров

Основой созданной системы тренажеров стала система электронного обучения Moodle [4]. Применение плагина STACK [5] позволяет обрабатывать сложные ответы, поддерживает систему штрафов за частично неверный ответ и систему попыток со штрафами за каждую попытку.

Разработанный банк задач охватывает все типовые задания ЕГЭ по математике базового уровня. Каждое типовое задание имеет множество вариантов, так как числовые параметры задания генерируются ученику автоматически благодаря использованию математического пакета Maxima [6]. Текстовая часть оформляется с помощью языка разметки LaTeX [7]. Названные инструменты также позволя-

ют генерировать графики, вставлять таблицы, рисунки и схемы в условия и пояснения к решениям заданий.

После ввода первого неправильного ответа выдается краткая теория по теме задания. После следующего ввода неверного ответа ученик может увидеть алгоритм решения задания. При вводе правильного ответа либо после третьей неправильной попытки ввода появляется решение сгенерированного ученику варианта задания. В зависимости от того, с какой попытки был введен правильный ответ, ученику будет начислено разное количество баллов. После прохождения всего тестирования можно оценить свои знания и посмотреть примерные результаты при сдаче реального экзамена ЕГЭ.

Особенности тренажеров

Особенностью разработки тренажеров является создание больших деревьев отзывов, включающих в себя не менее десяти узлов. Пример дерева отзыва показан на рис. 1.

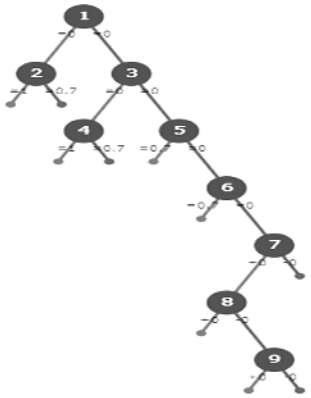


Рис. 1. Дерево отзывов

Таким образом, задается алгоритм проверки и производится сравнение ответа ученика с каким-либо заранее вычисленным значением. После проверки ответа системой ученик получает подробный отзыв с указанием на наиболее вероятную ошибку, допущенную при решении. Благодаря данной гибкой системе проверки с отзывами, а также наличию алгоритма и подробного решения для конкретной задачи тренажеры могут применяться не только на занятиях в школе, но и для самостоятельной подготовки.

Адаптация тренажеров для слабослышащих достигается путем встраивания видеороликов во все элементы тренажера. В данных видеороликах весь текст, а именно условия заданий, подсказки и решения, записанные на русском языке, переведены на жестовый язык. Перевод был выполнен специалистами-переводчиками. В дополнение был записан подробный видеоролик, объясняющий, как пользоваться тренажером. Он должен помочь при знакомстве с системой, так что ее освоение и дальнейшее использование не должны вызвать затруднений. Данные ролики короткие, их использование вместе с точечной обратной связью позволяет имитировать общение с преподавателем.

Пример адаптации показан на рис. 2.

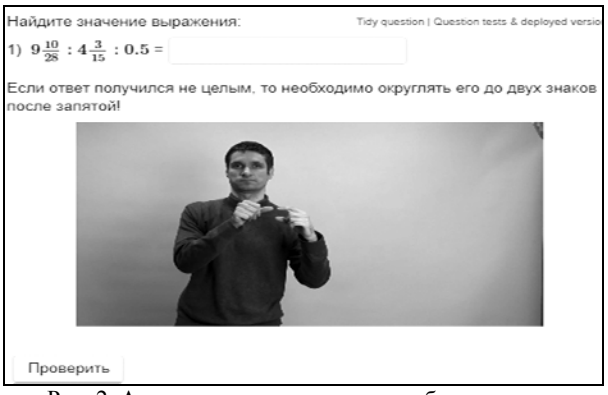


Рис. 2. Адаптация тренажера для слабослышащих

Аналоги

Популярные аналоги, использующиеся при подготовке к ЕГЭ, такие как «РЕШУ ЕГЭ» [8], «alexlarin.net» [9], «Яндекс.ЕГЭ» [10], имеют ряд недочетов, таких как отсутствие вариативности заданий, не подробный отзыв при проверке, отсутствие адаптации для людей с ограничениями слуха. Созданная нами система тренажеров не имеет вышеприведенных недочетов. Сравнение аналогов приведено в табл. 1.

Разработанная система тренажеров по сравнению с аналогами имеет ряд значительных преимуществ, так как обладает всеми качествами, приведенными в табл. 1.

Таблица 1

Аналоги

Критерий	Обучающие системы		
	РЕШУ ЕГЭ	alexlarin.net	Яндекс.ЕГЭ
Генерация параметров заданий	–	–	–
Наличие системы начисления баллов	+	–	+
Гибкая система отзывов	–	–	–
Адаптированность для людей с нарушениями слуха	–	–	–
Генерация вариантов ЕГЭ	+	+	+
Наличие решения	+	–	–
Наличие алгоритма	–	–	–

Результаты

На данный момент созданная система тренажеров используется в специальных школах Новосибирска и внедряется в школы по всей России. Несмотря на то, что присутствует обучающее видео, учащимся достаточно сложно заниматься на тренажерах, так как система обучения непривычна и внедрена только во втором полугодии прошлого учебного года. Большинство из них отрабатывают только определенные темы, которые особенно не получаются. Активное использование тренажеров планируется на новый учебный год. Были собраны средние результаты работы с тренажером на определенные темы и по структуре ЕГЭ в целом за конец второго полугодия. На данный момент хуже всего получаются задания, связанные с геометрией и с формулами, корнями, логарифмами, тригонометрическими функциями. Хорошие средние результаты показаны

в уравнениях, теории вероятностей и чтении графиков, логических задачах и свойствах чисел, нестандартных задачах. При этом общие средние результаты по сгенерированным тестам ЕГЭ меньше пятидесяти процентов. Средние результаты выполнения заданий по темам и в общем тесте показаны в табл. 2.

Таблица 2

Средние результаты

Категория задания	Средний балл
Дроби. Степени. Проценты	4,87
Формулы. Корни. Логарифмы. Тригонометрические функции	3,75
Задачи на выбор лучшего варианта	5,9
Чтение графиков. Свойства функций	4,53
Уравнения	9
Геометрия	2,13
Теория вероятностей. Промежутки и точки на числовой прямой	8,63
Логические задачи. Свойства чисел	8
Нестандартные задачи. Задачи на смекалку	8
Билет ЕГЭ по математике	15,5

Проект поддержан Благотворительным фондом В. Потанина в рамках конкурса на поддержку социально значимых инициатив. Выполнялся под руководством доцента кафедры КИБЭВС ТУСУРа Д.В. Кручинина.

Литература

1. Статистика инвалидности в России [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://specialbank.ru/2016/10/18/stats_russia#4 (дата обращения: 02.09.2018).

2. Global hearing health: future directions / S. Chadha, A. Cieza, E. Krug // Bulletin of the World Health Organization. – 2018. – Vol. 96. –146 p.

3. Global estimates on prevalence of hearing loss. Geneva: World Health Organization [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.who.int/pbd/deafness/estimates/en/ (дата обращения: 05.09.2018).

4. Moodle Open-source learning platform [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://moodle.org/, свободный (дата обращения: 15.08.2018).

5. Moodle plugins directory STACK [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://moodle.org/plugins/qtype_stack, свободный (дата обращения: 16.08.2018).

6. Система компьютерной алгебры Maxima [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://maxima.sourceforge.net/ свободный (дата обращения: 17.08.2018).

7. The LaTeX project [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.latex-project.org/, свободный (дата обращения: 17.08.2018).

8. РЕШУ ЕГЭ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://mathb-ege.sdamgia.ru/, свободный (дата обращения: 18.08.2018)

9. alexlarin.net [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://alexlarin.net/, свободный (дата обращения: 19.08.2018).

10. Яндекс.ЕГЭ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://ege.yandex.ru/ege, свободный (дата обращения: 20.08.2018).

Бреева Анна Константиновна
Студентка каф. КИБЭВС ТУСУРа
Эл. почта: pachitta@yandex.ru

Мельникова Наталия Евгеньевна
Студентка каф. КИБЭВС ТУСУРа
Эл. почта: ilsemble@gmail.com

Кручинин Дмитрий Владимирович
Канд. физ.-мат. наук, доцент каф. КИБЭВС ТУСУРа
ORCID: https://orcid.org/0000-0003–3412-432X
Эл. почта: kdv@keva.tusur.ru

УДК 004.021:004.891

А.К. Бреева, Н.Е. Мельникова, Д.В. Кручинин

Внедрение индивидуальной траектории обучения в электронные курсы

Рассмотрены возможности системы электронных курсов Moodle для создания индивидуальной траектории при прохождении обучения по образовательной программе по одному из предметов. Проведено сравнение с аналогичными системами. Представлены требования к индивидуальной траектории.

Ключевые слова: moodle, maxima, stack, электронные курсы, адаптивное образование, индивидуальная траектория обучения.

Каждый год в высшие учебные заведения поступают абитуриенты с разным уровнем знаний. Из-за этого преподавателям непросто донести до всех учащихся материал учебной программы одинаково понятно [1]. В связи с этим в последнее время стали набирать популярность электронные курсы, как один из способов выравнивания знаний студентов [2–5].

Общая характеристика предметной области

Разработка электронных курсов для выравнивания знаний и обучения студентов производится в системе электронных курсов Moodle [6], широко использующейся в университетах страны. Эта система является бесплатной и поддерживает плагин Stack [7]. Данный плагин дает возможность внедрять

в тренажеры курса «умные» отзывы. Тренажером в данном случае является один из типов заданий на определенную тему. Для каждого тренажера создаётся задание, содержащее набор параметров, случайный выбор которых позволяет сгенерировать некоторое количество вариантов заданий. «Умные» отзывы реализуются благодаря поддержке плагином Stack элемента «Дерево отзывов», что позволяет добавить в тренажёры обратную связь. В «Дереве отзывов» производится анализ ответа, введенного учащимся, и вывод отзыва на конкретный ответ. Отзывы позволяют указать на наиболее вероятную ошибку, совершенную при решении, благодаря чему обучающийся может проанализировать свое решение и исправить ошибку. При создании тренажеров для отображения текста используется язык текстовой разметки ЛаТеХ [8]. В качестве математического пакета выступает Maxima [9].

Определение типа индивидуальной траектории

В последнее время было проведено несколько исследований, посвященных изучению методов повышения качества образования. Было выявлено, что наибольшую эффективность при усвоении знаний имеет адаптивное образование, когда для каждого обучаемого выстраивается индивидуальная траектория [10, 11]. Также исследовались параметры траектории для получения наилучших результатов [12]. По результатам исследований были сделаны следующие выводы: учащиеся должны достичь результатов и видеть их, в том числе в процессе достижения должен быть отображен прогресс, обучение должно включать по возможности широкое использование разных когнитивных стилей, так как разные люди воспринимают информацию по-разному, индивидуализация обучения достигается путем решения дополнительных задач по темам, в которых возникают проблемы, причем данные темы выбираются автоматически на основе статистики. Moodle позволяет собирать статистику как по отдельным курсам, студентам, группам, тестам, так и общую.

Для модернизации, т.е. формирования индивидуальной траектории, была выбрана система электронных курсов по математическому анализу, внедрённая в ТУСУРе для обучения. После апробации в нескольких группах на факультете безопасности система без индивидуальной траектории показала хорошие результаты. При примерно одинаковых результатах входного контроля процент сдавших экзамен с первого раза в группах, занимавшихся с помощью электронных курсов, был больше в 3 раза, по общим итогам экзаменации процент сдавших предмет был выше в 1,5 раза, чем в группах, не использовавших электронный курс [13].

Аналоги

Ближайшим аналогом предложенной модернизированной системы является проект Plario [14], разработанный Томским государственным университетом. Основным преимуществом системы электронных курсов, разрабатываемой в ТУСУРе, в отличие от Plario, является наличие обработки вводимых ответов и выдача «умных» отзывов на них. В системе Plario все задания представлены в формате теста, т.е. для ответа на задание нужно выбрать один из предложенных вариантов, из-за чего у учащегося появляется возможность угадать ответ, а не показать свои фактические знания.

Еще одним примером системы с индивидуализацией обучения является курс по информатике [15], разработанный в ТУСУРе. Авторы разработали свой модуль, позволяющий реализовать функции адаптивности и встроили дополнительную базу данных в систему Moodle. Наличие индивидуальной траектории в описываемом в данной статье адаптивном курсе, в отличие от вышеприведенного курса по информатике, не влияет на производительность при разном количестве учащихся.

Создание адаптивности

В зависимости от результата решения блока заданий выстраивается индивидуальная траектория. Каждый блок заданий составлен из нескольких тренажеров по какой-либо теме, соответствующей программе обучения.

При создании тестирования имеется возможность задать условия, при которых откроется данный тест.

При успешном прохождении одного из открытых блоков тестирования обучающемуся открывается доступ к следующей теме. Если студент не набрал минимальное количество баллов по данному тестированию, то ему для закрепления материала предлагается решить еще один блок с подобными заданиями.

Для запоминания пройденного материала в долговременную память в соответствии с различными исследованиями (например, Герман Эббингауз изучал закономерности забывания и вывел кривую забывания) необходимо заниматься ее повторением через определенные промежутки времени. В курс планируется добавить отслеживание процесса забывания освоенных тем по категориям. Для этого студентам будет предложено повторно решить несколько заданий по пройденным темам и в случае большого количества ошибок потренироваться еще в решении заданий на тему, с которой возникли трудности.

Внедрение

Для оценки эффективности созданного адаптивного курса планируется внедрить его в часть групп на факультете безопасности по аналогии с внедрением его предыдущей версии без функции адаптивности.

Литература

1. Guskey T.R. Closing achievement gaps: Revisiting Benjamin S. Bloom’s learning for mastery // Journal of Advanced Academics. Prufrock Press, P.O. Box 8813, Waco, TX 76714. – 2007. – Vol. 19, No. 1. – P. 8–31.

2. Paiva R.C., Ferreira M.S., Mendes A.G., Eusébio A.M.J. Interactive and multimedia contents associated with a system for computer-aided assessment // Journal of Educational Computing Research. – 2015. – Vol. 52(2). – P. 224–256. – https://doi.org/10.1177/0735633115571305

3. Baki A., Güveli E. Evaluation of a web based mathematics teaching material on the subject of functions // Computers & Education. – 2008. – Vol. 51(2). – P. 854–863. – https://doi.org/10.1016/j.compedu.2007.09.003

4. Reed H., Drijvers P., Kirschner P. Effects of attitudes and behaviors on learning mathematics with computer tools // Computers & Education. – 2010. – Vol. 55(1). – P. 1–15. – https://doi.org/10.1016/j.compedu.2009.11.012

5. González C.L., Saroil D., Sánchez Y. Scientific production on e-learning in Latin America, a preliminary study from SciELO database // Revista Cubana de Educacion Medica Superior. – 2015. – Vol. 29(1). – P. 155–165. – https://doi.org/10.6084/m9.figshare.1416304.v1.Google Scholar

6. Moodle Open-source learning platform [Электронный ресурс]. – https://moodle.org/

7. Moodle plugins directory STACK [Электронный ресурс]. – https://moodle.org/plugins/qtype_stack

8. The LaTeX project [Электронный ресурс]. – https://www.latex-project.org/

9. Система компьютерной алгебры Maxima [Электронный ресурс]. – http://maxima.sourceforge.net/

10. Замараев С.А. Персонализированные рекомендации, основанные на данных: путь к персонализации обучения // EdCrunch: матер. междунар. конф. по новым образовательным технологиям. Томск, 29–31 мая 2019 г. – Томск: ИД ТГУ, 2019. – 400 с.

11. Беленко В.А., Немцев С.Н., Генаров В.А. Новая форма реализации персонализированного, практико-ориентированного обучения – образовательный интенсив (опыт апробации сервисов университета НТИ 2035) // EdCrunch: матер. междунар. конф. по новым образовательным технологиям. Томск, 29–31 мая 2019 г. – Томск: ИД ТГУ, 2019. – 400 с.

12. Сысоев П.В. Обучение по индивидуальной траектории // Язык и культура: науч. журнал. – Томск: ТГУ, 2013. – С. 121–13.

13. Бреева А.К., Кручинин Д.В., Мельникова Н.Е., Шабля Ю.В. Применение электронных курсов для улучшения качества преподавания математических дисциплин // Развитие образовательного пространства региональных вузов в системе координат приоритетных проектов РФ: лучшие практики: сб. матер. Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. 20–21 сентября 2018 г., Барнаул. – Барнаул: Изд-во АлтГУ, 2018. – С. 100–106.

14. Plario.com [Электронный ресурс]. – https://plario.com/ru/index.html

15. Кречетов И.А., Романенко В.В., Кручинин В.В., Городович А.В. Реализация адаптивного обучения: методы и технологии // Открытое и дистанционное образование: науч.-метод. журнал. – 2018. – № 3(71). – Ассоциация образовательных и научных учреждений «Сибирский открытый университет» ТГУ. – С. 33–40.

Бреева Анна Константиновна
Студентка каф. КИБЭВС ТУСУРа
ЛORCID: https://orcid.org/0000-0001-7747–3867
Эл. почта: pachitta@yandex.ru

Мельникова Наталия Евгеньевна
Студентка каф. КИБЭВС ТУСУРа
Эл. почта: ilsemble@gmail.com

Кручинин Дмитрий Владимирович
Канд. физ.-мат. наук, доцент каф. КИБЭВС ТУСУРа
ORCID: https://orcid.org/0000-0003–3412-432X
Эл. почта: kdv@keva.tusur.ru

УДК 378.147.88

А.В. Кравцова, В.И. Морозов

Использование плагина STACK для формирования различных типов тренажёров

Описаны возможности смены средств разработки тренажёров электронного обучения со стандартных, предоставляемых Moodle, на средства плагина STACK. Исследованы основные преимущества и недостатки обоих подходов. Получены результаты, подтверждающие целесообразность перехода от стандартных инструментов разработки к плагину STACK.

Ключевые слова: тренажёр, STACK, MOODLE, преимущества, генерация, переход.

Процесс создания классических (без STACK [1]) тренажёров с помощью инструмента Moodle [2] предполагает чёткое описание каждого задания автором. Это не составляет проблемы для заданий, содержащих только объёмные блоки художественного текста (например, отрывки из литературы) и требующих от обучающегося только ознакомления с его содержанием и последующего анализа (примером такого задания может стать сочинение или изложение по представленному тексту), так как их содержание не подразумевает вариативности – нельзя заменить ту или иную часть такого отрывка на другую без потери смысла. Однако для других типов задач, в число которых входят и математические тренажёры [3], замена некоторых частей задания на другие является обычной и, более того, даже необходимой практикой. Это обусловлено рядом объективных причин, а именно:

1. Различные задания для каждого из обучающихся не позволяют им использовать чужие ответы в качестве собственных.

2. Решение ряда однотипных, но не идентичных задач позволяет лучше развить навыки в изучаемой области.

3. Вариативность отдельных частей однотипных задач значительно затрудняет, а иногда делает и вовсе невозможным поиск готовых решений в Интернете или специализированной литературе.

Таким образом, в связи с необходимостью создания множества однотипных задач перед автором встаёт проблема: время, затрачиваемое на создание ряда таких задач, возрастает линейно с ростом их количества (примерно одинаковое количество времени уходит на создание каждого тренажёра одного и того же типа), хотя доля изменений, вносимых в каждое новое задание, мала (к примеру, в математических задачах в большинстве случаев изменяют только численные параметры). Также важно отметить, что процедура копирования текста, к которой можно прибегнуть для ускорения упомянутого выше процесса создания задачи, не даёт значительного ускорения при разработке ряда заданий, так как процесс разработки тренажёра, реализуемый с использованием платформы Moodle, включает в себя ряд этапов, отличных от набора текста содержательной части задания (таких, как настройка параметров оценивания, отображения и т.п.).

Решение

Для того чтобы наиболее эффективно справиться с проблемой, описанной в предыдущем разделе, необходимо средство автоматизированного создания набора однотипных заданий, различающихся только по нескольким переменным параметрам. Эффективным и достаточно простым в использовании средством, предоставляющим такой функционал, является плагин STACK для Moodle. Одним из основных его преимуществ является возможность гибкой случайной генерации параметров любого типа (чисел, строк, формул и т.д.) в рамках одного задания [4]. Таким образом, одна задача, разработанная с помощью плагина STACK, включает в себя целый набор однотипных задач, объём которого зависит лишь от потребности автора. Благодаря этому преимуществу время разработки кратно сокращается, так как, в отличие от других инструментов создания тренажёров, встроенных в Moodle, оно остаётся постоянным или растёт гораздо медленнее в зависимости от типа переменных параметров. Такой выигрыш во времени обоснован двумя фактами:

1. Так как вся группа однотипных заданий остаётся в рамках одного тренажёра, накладные расходы времени на разработку несодержательной части задания (визуальное оформление, методика оценивания и т.д.) сводятся к минимуму.

2. Расширение группы задач сводится к простому указанию нужного количества различных вариантов в случае с параметрами числовых типов и к внесению конкретных значений параметров в список в случае со строковыми параметрами и параметрами-формулами.

Обоснование

Для обоснования эффективности применения приведённого выше подхода было проведено следующее исследование.

Была поставлена задача – создать группу тренажёров на определённые тематики пяти разных типов: Одиночный выбор, Множественный выбор, Короткий ответ, Числовой ответ, Выпадающий список. По три тренажёра каждого типа.

В качестве исполнителей были выбраны пять разработчиков с одинаковой квалификацией и опытом работы со STACK и стандартными тренажёрами Moodle. Каждый из исполнителей выполнял поставленную задачу самостоятельно в полном объёме.

Для оценки результатов были выбраны следующие критерии:

1) скорость разработки;

2) объём банка вопросов [5];

3) скорость работы разработанных тренажёров (загрузки тренажёра и проверки ответа).

Исследование показало следующие результаты:

– среднее время разработки всей группы тренажёров для стандартных тренажёров Moodle оказалось больше, чем для плагина STACK;

– объём банка вопросов при разработке с плагином STACK оказался кратно меньшим благодаря тому, что каждая группа вопросов одной категории была заменена одним вопросом;

– скорости работы тренажёров при стабильном интернет-соединении оказались практически равными: в среднем время загрузки тренажёра и проверки ответа для обоих типов разработки составило менее 1 с.

Подробные результаты исследования приведены в таблице.

Результаты исследования

Критерий	STACK	Стандартные средства Moodle
Скорость разработки	38 мин	53 мин
Объём банка вопросов	1 категория, 5 вопросов	5 категорий, 15 вопросов
Скорость работы тренажёра	< 1 с	< 1 с
Возможность генерации	Случайная генерация произвольных частей вопроса любого объёма и содержания	Случайный выбор одного вопроса (целиком) из набора для решения студентом
Возможности визуального оформления	Языки разметки LateX и HTML	Только печатный текст
Система оценивания	Древовидная, позволяет проработать неограниченное количество вариантов ответа, которые может дать студент	Простая проверка соответствия типа верно/неверно

Возможности воспроизведения

Платформа Moodle предоставляет возможность создания семнадцати различных типов тренажёров, включая вопросы, создаваемые с помощью плагина STACK. Из них двенадцать могут быть заменены на тренажёры типа STACK без потери смысла содержательной части и без ущерба методам оценивания. Более того, их внешний вид практически не изменяется вне зависимости от варианта реализации. Плагин не предоставляет возможностей для создания тренажёров следующих типов:

1. Эссе.
2. Перетаскивание в текст.
3. Перетаскивание на изображение.
4. Перетаскивание маркеров.

Общие преимущества STACK

На основе всего, сказанного выше можно сделать вывод, что плагин STACK имеет ряд преимуществ и недостатков по сравнению со стандартными средствами разработки Moodle. Это не является достаточным основанием для смены используемых средств разработки. Однако STACK обладает рядом других преимуществ кроме тех, о которых рассказано выше. Эти преимущества будут описаны далее.

Во-первых, STACK позволяет генерировать части заданий. Причём генерации подлежат практически все фрагменты вопроса любой величины – от числа в математическом примере до блоков текста в заданиях по гуманитарным дисциплинам. При этом используется генератор псевдослучайных чисел, что при умелом использовании позволяет создать у обучающегося ощущение наличия набора различных и слабо связанных между собой заданий (связь может прослеживаться только на уровне общей тематики заданий), в то время как для разработчика этот набор будет являться единым тренажёром, что значительно упрощает управление банком вопросов и создание курсов.

Во-вторых, STACK предоставляет массу инструментов для разработчиков заданий, а именно:

1. Гибкую систему проверки ответов с возможностью давать отзывы и подсказки обучающемуся на каждой стадии прохождения задания.
2. Многофункциональную систему расширенной отладки и тестирования созданных тренажёров.
3. Возможность использования при разработке тренажёров таких популярных инструментов, как математический пакет Maxima [6], языки разметки LateX [7, 8] и HTML.

Заключение

Таким образом, учитывая всё вышесказанное, можно утверждать, что разработка различных типов тренажёров с использованием плагина STACK целесообразна, так как, с одной стороны, это позволяет сэкономить время разработчика (а значит, быстрее создавать и редактировать тренажёры, что, в свою очередь, позволит быстрее внедрять электронное обучение в различные сферы), а с другой – даёт возможность использовать массу возможностей для создания наиболее дружественного к обучающемуся интерфейса.

Литература

1. Moodle [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://moodle.org/ (дата обращения: 3.09.2018).
2. Moodle plugins directory – STACK [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://moodle.org/plugins/typestack (дата обращения: 07.09.2018).
3. Разработка электронного тренажера с ипользованием STACK [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://docplayer.ru/50449523-Razrabotka-elektronnogo-trenazhera-s-ipolzovaniem-stack-d-t-nugmanov-p-v-perminov-a-s-repkin.html (дата обращения: 3.09.2018).
4. Случайная генерация STACK [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://stack2.maths.ed.ac.uk/demo2018/question/type/stack/doc/doc.php/CAS/Random.md (дата обращения: 3.09.2018).
5. Банк вопросов Moodle FAQ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://github.com/maths/moodle-qtype_stack/blob/master/doc/en/Authoring/Question_bank.md (дата обращения: 3.09.2018).
6. Русскоязычный раздел официального сайта Maxima [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://maxima.sourceforge.net/ru/ (дата обращения: 3.09.2018).
7. Дональд Кнут. Все про TeX. – М.: Вильямс, 2003. – 560 с.
8. Документация LateX [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.latex-project.org/help/documentation/ (дата обращения: 3.09.2018).

Кравцова Анастасия Владимировна
Студентка каф. КИБЭВС ТУСУРа
Эл. почта: kravtsova_nastia98@mail.ru

Морозов Владимир Игоревич
Студент каф. КИБЭВС ТУСУРа
Эл. почта: vvovv266@gmail.com

УДК 004.942

В.М. Дмитриев, Т.В. Ганджа, Т.Н. Зайченко, М.И. Кочергин

Методика построения виртуально-физической лаборатории «Элементы и устройства роботизированных систем»

Рассматривается методика и принципы построения виртуально-физических лабораторий, в которых осуществляется исследование реальных технических объектов и их компьютерных моделей.
Ключевые слова: роботизированная система, виртуально-физическая лаборатория, виртуальный прибор, измерительный контроллер, лабораторный эксперимент.

Обучение новым и перспективным технологиям является актуальным вопросом современного образования. Особое значение в нем занимают теоретическое изучение и приобретение практических навыков студентами при работе с новыми средствами измерения и управления современными роботизированными системами (РС) [1, 2]. Для этих целей на кафедре компьютерных систем в управлении и проектировании на базе отечественных программных и аппаратно-программных комплексов разрабатывается реально-виртуальная лаборатория по дисциплине «Элементы и устройства роботизированных систем» (ЭУРС) [3]. Её каждая лабораторная работа посвящена исследованию и приобретению навыков программного управления различными функциональными узлами РС, к которым относятся как электрические схемы, так и электромеханические преобразовательные устройства. В зависимости от поставленных задач в работе могут исследоваться как реальные объекты, так и их компьютерные модели. Выполнение ряда лабораторных работ предполагает сочетание реального и виртуального эксперимента.

Определение и назначение виртуально-физической лаборатории

К классу виртуально-физических будем относить такие лаборатории учебного назначения, в которых проведение лабораторного эксперимента базируется на одновременном использовании реальных технических объектов и их виртуальных аналогов [4].

Исследование виртуальных аналогов, представленных компьютерными моделями, обеспечивает исследование критических режимов работы электрических компонентов РС, позволяет осуществлять построение и исследование частотных характеристик, в том числе исследовать механические и электромеханические характеристики на устойчивость, надежность и работоспособность частотными и модальными методами анализа. Анализ моделей в динамическом режиме при изменении значений параметров их компонентов позволяет осуществлять формирование и отладку сценариев функционирования контроллера, являющегося устройством управления роботизированными системами.

Исследование реальных элементов и устройств РС обеспечивает проведение экспериментов в условиях действия возмущений и помех измерений, позволяет привить навыки правильного подключения и использования источников, генераторов и измерительных приборов как к объекту управления, так и к измерительно-управляющему контроллеру.

Состав лаборатории ЭУРС

Исходя из представленного определения виртуально-физической лаборатории (ВФЛ) и назначения лаборатории ЭУРС, в ее состав (рис. 1) входят следующие блоки:

– *Система управления лабораторией* [5], обеспечивающая связь всех модулей ВФЛ ЭУРС с системой дистанционного обучения ТУСУРа, реализованной на базе системы Moodle [6]. Эта связь обеспечивает хранение и предоставление методических рекомендаций к выполнению лабораторной работы, получение персонифицированных данных о выполняющих ее студентах, а также отправку отчета для его проверки преподавателем.

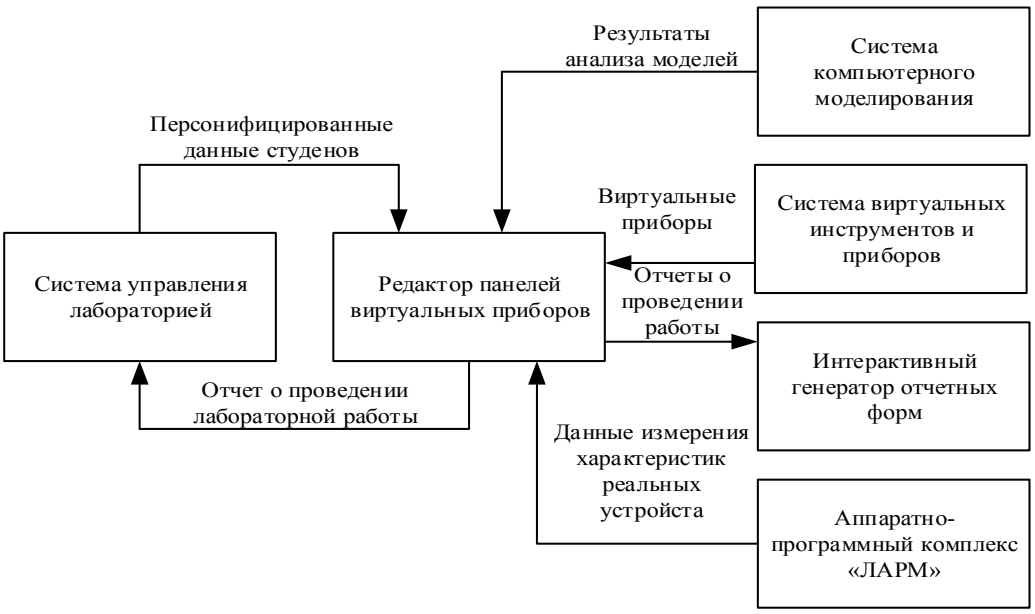


Рис. 1. Структурно-функциональная схема виртуально-физической лаборатории

– *Редактор панелей виртуальных приборов*, предоставляющий возможности формировать панели для проведения лабораторных работ, которые, являясь многоуровневыми компьютерными моделями, включают в себя виртуальные приборы (ВП) [7, 8], систему их взаимодействия с блоками обработки результатов и формирования отчетов с результатами лабораторных работ, а также обеспечивающий интеграцию с исследуемым реальным техническим объектом и/или его компьютерной моделью.

– *Система виртуальных инструментов и приборов* [9, 10], позволяющая формировать многоуровневые компьютерные модели виртуальных приборов на базе разработанных инструментов, представленных компонентами, и использовать ВП для проведения виртуального и реального эксперимента над реальными элементами и устройствами РС и их компьютерными моделями.

– *Система компьютерного моделирования МАРС* [11], являющаяся универсальной системой компьютерного моделирования сложных технических и технологических объектов с неоднородными векторными связями [12] и обеспечивающая автоматизированный анализ электрических, электромеханических и механических элементов и устройств РС в статическом и динамическом режимах во временной и частотной областях.

– *Аппаратно-программный комплекс «Лабораторное автоматизированное рабочее место»* (АПК ЛАРМ) [13], включающий в себя реализованные на базе микроконтроллера X-Mega и функционирующие на основе сценария, сформированного на языке управления механизмами X-Robot [14], измерители реальных сигналов в режиме осциллографирования с передачей их временных характеристик в компьютер для последующей обработки и визуализации, а также исполнители, обеспечивающие реализацию команд управления исполнительными устройствами реального объекта, к которым относятся электромеханические реле, коммутаторы, сервоприводы, источники постоянного напряжения, генераторы переменного напряжения и т.п.

– *Интерактивный генератор отчетных форм* [15], реализующий формирование отчета о проделанной работе с автоматически включенными в него результатами исследования реальных объектов и их компьютерных моделей.

Представленный набор модулей обеспечивает автоматизированное проведение лабораторных работ, начиная от получения методических указаний к проведению каждой из них, заканчивая формированием отчета с результатами проведенных экспериментов и его отправкой на проверку преподавателю.

Многоуровневая компьютерная модель панелей виртуальных приборов

В основе построения виртуальных приборов и их панелей, обеспечивающих проведение экспериментов над реальными элементами и устройствами роботизированных систем и их компьютерными моделями, лежит структура многоуровневой компьютерной модели [16], методологической базой которой является метод компонентных цепей [17] (рис. 2).

Панель виртуальных приборов, реализованная для каждой лабораторной работы, состоит из трех взаимосвязанных уровней, которые содержат:

– *Визуальный уровень* – содержит панели виртуальных приборов, осуществляющие визуализацию данных измерения характеристик реальных элементов и устройств РС и результатов анализа их компьютерных моделей, а также средства интерактивного варьирования параметрами прибора, модели и воздействий на реальный объект.

– *Логический уровень* – включает в себя сценарий проведения эксперимента, на основе которого функционирует измерительно-управляющий контроллер АПК ЛАРМ. Сценарий собирается из фрагментов сценария, прописанных в виртуальных приборах и реализованных на логическом уровне из многоуровневых компьютерных моделей, а также из фрагмента, непосредственно сформированного пользователем на логическом уровне панели виртуальных приборов. Это открывает возможность любому пользователю формировать свои фрагменты сценария эксперимента с их автоматической инкапсуляцией с фрагментами сценария виртуальных приборов. Помимо фрагментов сценария эксперимента, логический уровень включает в себя блоки обработки результатов эксперимента, которые передаются на него взаимосвязанными со сценарием компонентами, а также компоненты системы автоматизированного документирования.

– *Объектный уровень* образован АПК ЛАРМ XR, который взаимодействует с реальным исследуемым объектом, и/или моделью объекта, сформированной в среде моделирования МАРС, для анализа которой используется универсальное вычислительное ядро [18].

Для проведения исследований в рамках проведения лабораторных работ по дисциплине «Элементы и устройства роботизированных систем» разработаны следующие виртуальные приборы:

– *Подключение к ЛАРМ*, обеспечивающей подключение всех панелей виртуальных приборов к АПК ЛАРМ, автоматическое формирование сценария из фрагментов, реализованных в ВП, входящих в панель, его перевод в машинную форму с последующей прошивкой контроллера, управление работой сценария в контроллере.

– *Двухканальный осциллограф*, отображающий в графическом виде временные диаграммы двух измеряемых сигналов в режиме реального времени. В нем реализованы функции управления разверткой, усилением и смещением сигналов, а также их синхронизацией по переднему или по заднему фронту.

– *Управляемый источник постоянного напряжения*, позволяющий в интерактивном режиме варьировать напряжение источника, реализованного в АПК ЛАРМ, в диапазоне от 0 до 12 В.

– *Мультиметр*, осуществляющий на основе реализованных в нем численных методов анализа измерение постоянного, максимального, среднего или действующего значения напряжения или тока; разности фаз между ними, сопротивление (импеданс), представленное частным напряжения к току с учетом фазы между ними; иммитанс, который является частным тока к напряжению. Помимо этого, данный мультиметр осуществляет измерение полной, активной, реактивной и комплексной мощности.

– *Построитель частотных характеристик*, осуществляющий построение АЧХ и ФЧХ одного

сигнала осциллографа на основе опорного сигнала, измеряемого вторым каналом осциллографа АПК ЛАРМ.

– *Спектроанализатор*, выполняющий построение спектра исследуемого сигнала на основе быстрого преобразования Фурье относительно заданной фундаментальной частоты, которая является частотой первой гармоники исследуемого спектра сигнала.

– *Прибор для управления ключами*, осуществляющий замыкание или размыкание электромагнитных реле, установленных на исследуемом реальном объекте и изменяющих его топологию.

Для исследования переменных сигналов реализован виртуальный прибор со встроенными в него численными методами, выполняющий определение коэффициента пульсаций.

Все обозначенные приборы, помимо реализованной в них программной связи с АПК ЛАРМ и средой моделирования МАРС для получения данных измерения и результатов моделирования, имеют связи с блоками интерактивного генератора отчетных форм, с помощью которых осуществляется передача данных в формируемый отчет о проделанной лабораторной работе.

На рис. 3 представлена панель виртуальных приборов, разработанная для проведения лабораторной работы по исследованию вторичного источника электропитания.



Рис. 2. Многоуровневая компьютерная модель панелей виртуальных приборов

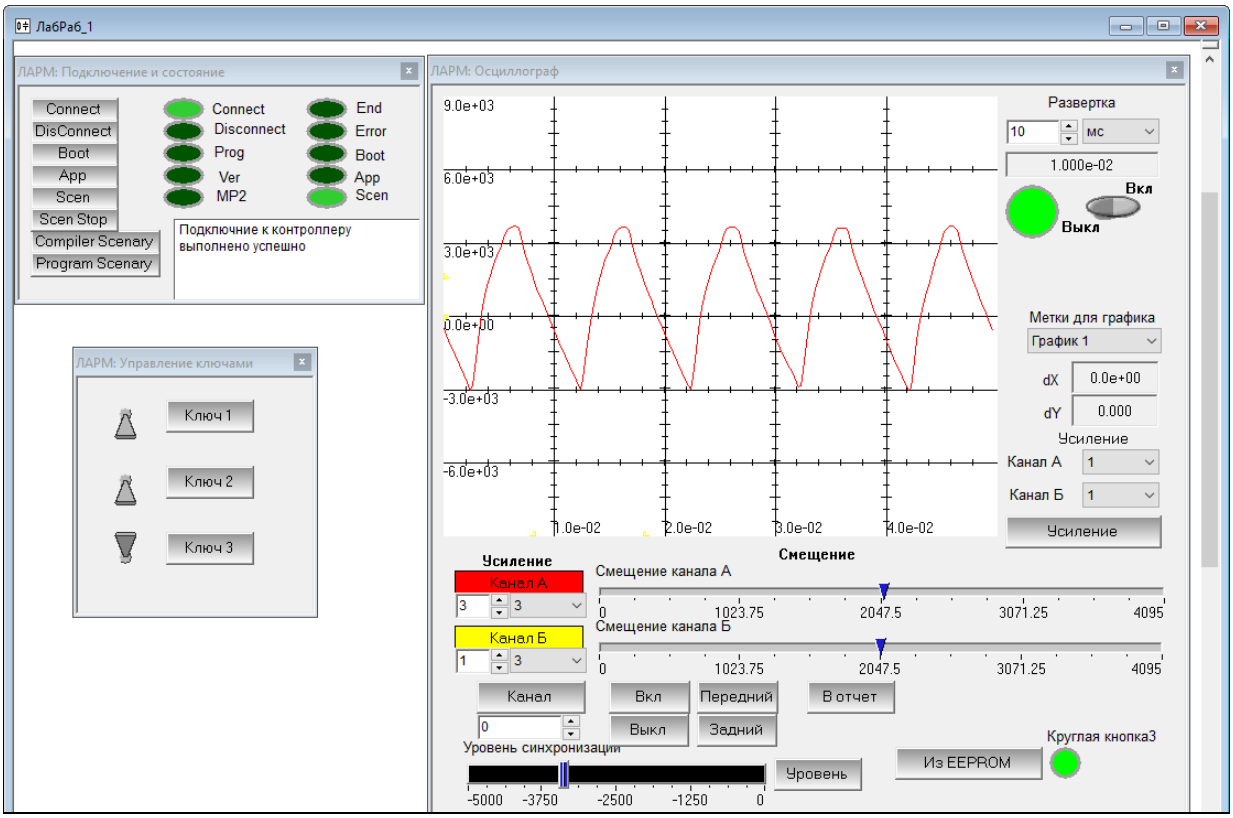


Рис. 3. Лицевая панель для проведения лабораторной работы по исследованию источника вторичного электропитания

Заключение

На примере виртуально-физической лаборатории по дисциплине «Элементы и устройства роботизированных систем» описана общая методика построения виртуально-физических лабораторий, входящие лабораторные работы в которых сочетают в себе проведение реальных и виртуальных экспериментов. Сформирован набор виртуальных приборов, осуществляющих взаимодействие панели ВП с аппаратно-программным комплексом ЛАРМ для снятия и отображения характеристик измеряемых сигналов, для управления параметрами и характеристиками источников и генераторов сигналов, а также топологией исследуемого объекта с помощью электронно-управляемых ключей и коммутаторов.

Литература

1. Назарова А.В. Методы и алгоритмы мультиагентного управления робототехнической системой / А.В. Назарова, Т.П. Рыжова // Инженерный журнал: наука и инновации. – 2012. – № 6 (6). – С. 29.

2. Горитов А.Н. Моделирование процессов управления робототехническими системами // Доклады ТУСУР. – 1999. – Т. 2. – С. 204–207.

3. Воротников С.А. Информационные устройства робототехнических систем. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2005. – 384 с.

4. Прошин И.А. Концепция интегрированных комплексов сетевых автоматизированных лабораторий с использованием виртуально-физических сред / И.А. Прошин, Д.И. Прошин, Р.Д. Прошина // Журнал научных публикаций аспирантов и докторантов. – 2008. – № 12(30). – С. 33–37.

5. Дмитриев В.М. Система управления лабораторией «Элементы и устройства роботизированных систем» / В.М. Дмитриев, Т.В. Ганджа, М.И. Кочергин // Сб. избранных статей научной сессии ТУСУРа (Томск, 22–24 мая 2019 г.): в 2 ч. – Томск: В-Спектр, 2019. – Ч. 2. – С. 23–25.

6. Alex Buechner. Moodle 3 Administration. – Therd Edition. – Packt Publishing, 2016. – 492 p.

7. Пец А.В. Виртуальные приборы – инструмент исследования двух реальностей // Вестник Балтийского фед. ун-та им. И. Канта. – 2013. – Вып. 10. – С. 144–146.

8. Дмитриев В.М. Редактор виртуальных инструментов и приборов / В.М. Дмитриев, Т.В. Ганджа, Т.Ю. Коротина // Приборы и системы. Управление. Контроль. Диагностика. – 2009. – № 6. – С. 19–24.

9. Дмитриев В.М. Система виртуальных инструментов и приборов для автоматизации учебных и научных экспериментов / В.М. Дмитриев, Т.В. Ганджа, С.А. Панов // Программные продукты и системы / Software & System. – 2016. – Т. 29, № 3. – С. 154–162.

10. Дмитриев В.М. СВИП – система виртуальных инструментов и приборов / В.М. Дмитриев, Т.В. Ганджа, В.В. Ганджа, Ю.И. Мальцев. – Томск: В-Спектр, 2014. – 216 с.

11. Дмитриев В.М. МАРС – среда моделирования технических устройств и систем / В.М. Дмитриев, А.В. Шутенков, Т.Н. Зайченко, Т.В. Ганджа. – Томск: В-Спектр, 2011. – 278 с.

12. Дмитриев В.М. Принципы построения моделей сложных технологических объектов с неоднородными векторными связями / В.М. Дмитриев, Т.В. Ганджа, С.К. Важенин // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2014. – № 1. – С. 104–111.

13. Дмитриев В.М. ЛАРМ: Автоматизированный лабораторный комплекс по электротехнике и электроники: учеб. пособие для вузов / В.М. Дмитриев, А.В. Шутенков, Т.В. Ганджа, А.Н. Кураколов. – Томск: В-Спектр, 2010. – 186 с.

14. Мальцев Ю.И. Язык управления механизмами X-Robot // Электронные средства и системы управления: матер. докладов IX Междунар. науч.-практ. конф., 30–31 октября 2013 г.: в 2 ч. – Ч. 2. – Томск: В-Спектр, 2013. – С. 114–118.

15. Ганджа Т.В. Задачи и архитектура подсистемы документирования исследований в среде многоуровневого моделирования МАРС / Т.В. Ганджа, С.А. Панов // Доклады ТУСУР. – 2011. – № 2(24), ч. 2. – С. 334–338.

16. Дмитриев В.М. Принцип формирования многоуровневых компьютерных моделей SCADA-систем для управления сложными технологическими объектами / В.М. Дмитриев, Т.В. Ганджа // Информатика и системы управления. – 2013. – № 2 (36). – С. 24–35.

17. Автоматизация моделирования промышленных роботов / В.М. Дмитриев, Л.А. Арайс, А.В. Шутенков. – М.: Машиностроение, 1995. – 304 с.

18. Дмитриев В.М. Архитектура универсального вычислительного ядра для реализации виртуальных лабораторий / В.М. Дмитриев, А.В. Шутенков, Т.В. Ганджа // Приборы и системы. Управление. Контроль. Диагностика. – 2004. – № 2. – С. 24–28.

Дмитриев Вячеслав Михайлович
Д-р техн. наук, профессор каф. КСУП ТУСУРа
Эл. почта: dmitriewvm@gmail.com

Ганджа Тарас Викторович
Д-р техн. наук, профессор каф. КСУП ТУСУРа
ORCID 0000-0002-4996-8114
Эл. почта: gandgatv@gmail.com

Зайченко Татьяна Николаевна
Д-р техн. наук, профессор каф. КСУП ТУСУРа
Эл. почта: ztn@ie.tusur.ru

Кочергин Максим Игоревич
Ст. преп. каф. КСУП ТУСУРа
Эл. почта: max24kochergin@gmail.com

Секция 17

ВИДЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ЦИФРОВОЕ ТЕЛЕВИДЕНИЕ

Председатели секции – ***Курячий Михаил Иванович,*** *доцент каф. ТУ, канд. техн. наук;* ***Зайцева Екатерина Викторовна,*** *доцент каф. ТУ, канд. техн. наук*

УДК 621.396.41

В.В. Гассельбах, О.С. Дмитриенко, А.С. Рудникович

Устранение артефактов сжатия изображений с использованием нейросетевого алгоритма шумоподавляющего автокодировщика

Приводится тестирование нейросетевого алгоритма шумоподавляющего автокодировщика в задаче устранения артефактов сжатия для стандарта MJPEG. Для тестирования использована выборка данных с разбиением на блоки ограниченного размера 16×16 и 48×48 элементов.

Ключевые слова: автокодировщик, нейронная сеть, видеоданные, изображение, артефакты сжатия.

С целью экономии сетевых ресурсов при передаче изображений, а также экономии места для хранения изображений применяются различные способы сжатия данных.

CODEC (Compressor-DECompressor) – это методы, алгоритмы и устройства сжатия видеоданных. Задача видеокодека: максимально возможное сжатие видеоизображения и его последующее восстановление (декомпрессия) с высокой скоростью и минимальными искажениями информации [1]. В большинстве аудио- и видеокодеков используется сжатие с потерями. Сжатие с потерями удаляя незначительную для зрительного восприятия информацию, обеспечивает высокие коэффициенты сжатия. Значительным недостатком данного подхода является появление артефактов сжатия, что ухудшает качество изображения. В связи с этим актуальной проблемой на сегодняшний день является эффективное устранение артефактов сжатия.

Для устранения артефактов сжатия применяют метод фильтрации вдоль границ блока, являющийся одним из наиболее часто используемых [2], и ряд других методов.

Лучшие качественные результаты по сравнению с классическими методами, указанными выше, показывают методы, основанные на машинном обучении. Машинное обучение и нейронные сети дают эффективные результаты в различных задачах обработки изображений: суперразрешение, шумоподавление, классификация и др.

Для обучения нейронной сети устранять артефакты сжатия необходимо сформировать массив данных. Для его получения разработан программный модуль, который позволяет выполнить «раскадровку» видеопотока и разбиение кадров на блоки заданного размера. Размеры блоков выбраны исходя из минимально достаточных размеров для описания артефактов сжатия в обрабатываемой окрестности изображения.

Для компрессии и декомпрессии использовано свободное программное обеспечение ffmpeg. В качестве видеокодека на текущем этапе работы использован MJPEG.

Пример командной строки для сжатия одного видеофайла представлен ниже.

ffmpeg –i *.y4m –c:v mjpeg –q:v 1 *.mjpeg, где * – названия видеофайлов, -c:v mjpeg – выбор кодека mjpeg, -q:v 1 – выбор качества видео (чем больше значение, тем ниже качество видео).

На рис. 1 представлен пример раскадровки видеопотока с использованием разработанных скриптов.



Рис. 1. Результат раскадровки видеофайла

Для ускорения процесса обучения нейронной сети данные кадры были разбиты на блоки размером 16×16 и 48×48 элементов, в результате время на обучение значительно сокращается при незначительной потере информации в контексте удаления артефактов сжатия.

На рис. 2 показаны несколько полученных блоков размерами 16×16.

На рис. 3 показаны несколько блоков размерами 16×16 сжатого видеофайла.

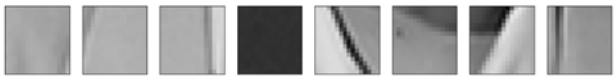


Рис. 2. Блоки размера 16×16 элементов

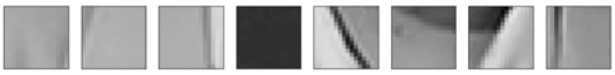


Рис. 3. Блоки размера 16×16 элементов сжатых изображений

Количество полученных блоков зависит от:

– размеров самих блоков;

– размеров кадра;

– количества кадров в видеофайле.

Полученный массив был разделен на два набора данных:

– 108000 образцов цветных блоков изображений размером 16×16 элементов (исходный видеофайл);

– 108000 образцов цветных блоков изображения размером 16×16 элементов с артефактами сжатия.

Оба набора данных использовались для обучения нейронной сети устранять артефакты сжатия. В качестве тестовой выборки использовался набор номер 2.

Для реализации алгоритма устранения артефактов сжатия была использована архитектура шумоподавляющего автокодировщика, в основе которой лежит архитектура автокодировщика, представленная на рис. 4.

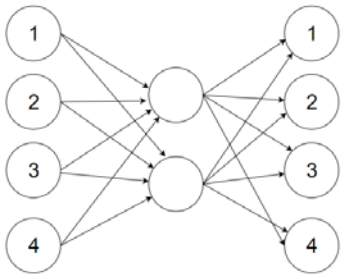


Рис. 4. Архитектура автокодировщика

Автокодировщик (autoencoder) является одним из типов нейронной сети, которая пытается получить в результате обучения параметры, приближающие, насколько это возможно, выходные данные к входным [3].

Классический автокодировщик изображений принимает изображение, отображает его в скрытое векторное пространство с помощью модуля кодирования и декодирует его обратно [4].

Архитектура данной нейронной сети состоит из 3 слоев:

1) входной постоянный слой, принимающий на вход размерность изображения как количество параметров;

2) скрытый слой, параметры которого меняются в целях оптимизации;

3) выходной слой, количество параметров которого совпадает с количеством входных параметров.

Изображение представлено в виде вектора пикселей. Каждый вектор состоит из n пикселей, где n – размерность входного слоя сети. Числовые значения каждого пикселя подаются на вход ИНС. Полученные данные на выходах скрытого слоя составляют вектор сжатых данных размерности m. Вектор содержит вещественные числа, которые подвергаются кодированию и передаче получателю. Сжатые данные на скрытом слое подаются на следующий слой, где происходит их декодирование [5].

Так как скрытый слой сети автокодировщика состоит из 576 параметров, что при 768 параметрах исходного цветного изображения обеспечивается коэффициент сжатия приблизительно в 25%.

Шумоподавляющий автокодировщик осуществляет устранение артефактов сжатия, сравнивая исходное изображение с изображением на выходе автокодировщика при подаче на его вход изображения с артефактами сжатия, после чего рассчитывает ошибку и передает ее на оптимизатор, который производит корректировку весов автокодировщика [5]. Блок-схема обучения шумоподавлющего автокодировщика представлена на рис. 5.



Рис. 5. Блок-схема обучения шумоподавляющего автокодировщика

В качестве исходного изображения был использован набор данных, не содержащий артефакты сжатия. Результат работы нейронной сети с коэффициентом сжатия 25% представлен на рис. 6.



Рис. 6. Изображение на выходе шумоподавляющего автокодировщика с коэффициентом сжатия 25%

С целью сравнения эффективности работы данной нейронной сети были рассчитаны количественные показатели качества, такие как RMSE и PSNR. Расчет количественных показателей качества фильтрации производился по формулам, приведенным в [6].

Результаты расчета для коэффициента сжатия 25% приведены в табл. 1.

С целью повышения качества работы данного алгоритма степень сжатия во время обучения была уменьшена до 15%.

Результат работы нейронной сети с коэффициентом сжатия 15% представлен на рис. 7.

Таблица 1

Расчет RMSE и PSNR при коэффициенте сжатия 25%

Изображение из выборки	RMSE	PSNR, дБ
Исходное сжатое первое изображение	0,0146	34,67
Изображение после устранения артефактов сжатия	0,0209	31,55

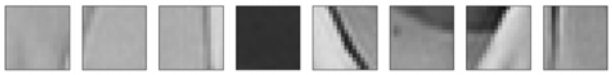


Рис. 7. Изображение на выходе шумоподавляющего автокодировщика с коэффициентом сжатия 15%

Результаты расчета для коэффициента сжатия 15% приведены в табл. 2.

Таблица 2

Расчет RMSE и PSNR при коэффициенте сжатия 15%

Изображение из выборки	RMSE	PSNR, Дб
Исходное сжатое первое изображение	0,0146	34,67
Изображение после устранения артефактов сжатия	0,0209	31,55

Уменьшение степени сжатия увеличивает пиковое отношение сигнал шум для данного набора данных. Граничным значением, обеспечивающим максимальное пиковое отношение сигнала к шуму, является степень сжатия, равная 10%.

Результат работы нейронной сети с коэффициентом сжатия 10% представлен на рис. 8.



Рис. 8. Изображение на выходе шумоподавляющего автокодировщика с коэффициентом сжатия 10%

Расчет показателей PSNR и RMSE для коэффициента сжатия 10% приведен в табл. 3.

Таблица 3

Расчет RMSE и PSNR при коэффициенте сжатия 10%

Изображение из выборки	RMSE	PSNR, дБ
Исходное сжатое первое изображение	0,0146	34,67
Изображение после устранения артефактов сжатия	0,0122	36,23

Данный результат показывает, что шумоподавляющий автокодировщик со степенью сжатия в 10% может быть использован для устранения артефактов сжатия изображений на данном тестовом наборе данных. Дальнейшее уменьшение степени сжатия для данной выборки дает отрицательные результаты.

Архитектура шумоподавляющего автокодировщика наилучшим образом устраняет артефакты сжатия и делает сжатое изображение похожим на оригинал для данной выборки при коэффициенте сжатия 10%. Сделать данную модель более универсальной к данным, а также повысить ее точность поможет введение дополнительных сверточных слоев, что сделает из данной архитектуры глубинный сверточный автокодировщик.

В дальнейшей работе планируется существенно увеличить выборку данных, оценить модель глубинного сверточного автокодировщика для видеоданных, сжатого различными кодеками с различными коэффициентами сжатия.

Литература

1. Видеоинформация [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://studopedia.su/8_2354_videoinformatsiya.html

2. List P., Joch A., Lainema J. et al. Adaptive deblocking filter// IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology. – 2003. – P. 614–619.

3. Шакла Н. Машинное обучение и TensorFlow. – СПб.: Питер, 2019. – 336 с.

4. Шолле Ф. Глубокое обучение на Python. – СПб.: Питер, 2018. – 400 с.

5. Генов А.А., Русаков К.Д., Моисеев А.А., Осипов В.В. Исследование сжатия растровых изображений с использованием искусственных нейронных сетей // Программные продукты и системы. – 2018. – С. 430–434.

6. Горбачев В.Н., Кайнарова Е.М. Элементы обработки цифровых изображений и встраивания цифровых данных: учеб. пособие. – СПб.: СПбГУПТД, 2016. – 96 с.

Гассельбах Виктория Владимировна
Студентка ТУСУРа
Эл. почта: 1997vika2702@mail.ru

Дмитриенко Олег Станиславович
Студент ТУСУРа
Эл. почта: 9ma1ka@mail.ru

Рудникович Андрей Сергеевич
Ст. преп. каф. ТУ ТУСУРа

УДК 621.396.41

Т.Ю. Гребёнкина

Сегментация рынка программного обеспечения для потоковой передачи видеоданных

Представлены анализ и результат сегментирования рынка программного обеспечения для потоковой передачи видеоданных. Проанализированы сферы применения потоковой видеоинформации. Выявлены потребительские сегменты для транскодирующих устройств.

Ключевые слова: сегментация, потоковая передача видео, транскодер, потоковое вещание, видео, рынок.

Успешная маркетинговая стратегия продвижения каждой компании прежде всего зависит от эффективности сегментирования и позиционирования товара на рынке. Сегментирование рынка – это важный элемент в маркетинговой деятельности и связан с определением целевых групп потребителей со схожими потребительскими характеристиками. Правильно проведенная сегментация увеличивает преимущества перед конкурентами.

Сегментация – это процесс разделения большого рынка на более мелкие четко определенные сегменты. Каждый из меньших сегментов имеет схожие потребности, желания и характеристики. Использование сегментов позволяет маркетологу лучше сосредоточить свои усилия на конкретной группе, которая будет заинтересована в продукте, и игнорирует сегменты, которые не представляют интереса [1].

Маркетинговый план мероприятий зачастую нацелен на определенный рынок или сегмент, где компания может достичь успеха в продвижении и получить существенную прибыль.

Потоковое вещание и способы передачи

Потоковое вещание – это мультимедийный контент, который пользователи непрерывно получают от провайдера услуг.

Передача потоковой видеоинформации использует технологии сжатия и буферизации данных, поэтому трансляция проводится в реальном времени. Это является преимуществом для пользователя, так как не нужно дожидаться полной загрузки видеоданных, чтобы просмотреть его. Для трансляции потокового видео используются два способа.

Последовательный способ. Видеоданные воспроизводятся с жесткого диска компьютера или сервера провайдера услуг. При таком способе передачи данных качество изображения и звука высокое. Но не дождавшись буферизации видеоданных, нельзя переключиться с одного момента на другой.

В реальном времени. Требует наличия потокового сервера. Метод подходит для отправки файлов большого размера и длительности. Также этот способ потокового вещания используется для трансляции с веб-камеры.

Сферы применения потового видеовещания

Просмотр видеоданных в Интернете. Пользователи могут посмотреть видеофайлы любого размера и длительности.

Видеосвязь. Видеосвязь с минимальной задержкой через мессенджеры и любые социальные сети.

Просмотр трансляции с веб-камер. В любое время пользователь может посмотреть на достопримечательности и прочие места. Применяется в видеонаблюдении службами безопасности, однако в этом случае трансляция ведется по локальной сети.

Сегментация рынка

Рассмотрена сегментация международного рынка транскодирующих устройств для потоковой передачи видеоданных, которая была проведена в рамках выпускной квалификационной работы на примере продукта компании ЗАО «Элекард Девайсез» транскодере «CodecWorks».

Сегментация данного продукта позволила выявить на международном рынке группы потенциальных потребителей и выбрать те сегменты, продвижение и продажа продукта для которых принесет компании доход.

Сегментация проводилась по нескольким параметрам. Первый – по типу обеспечения определенных функциональных особенностей, которые предоставляет транскодер. Были выделены следующие сегменты: транскодирование и обработка; управление видеопотоками данных; доставка и распространение видео; видеоаналитика; видеобезопасность.

Потребительские сегменты по функциональным особенностям

Транскодирование и обработка. Транскодирование видеоданных представляет собой перевод видео из одного цифрового формата в другой, в котором формат файла, аудио- и видеоданных переводятся в одно мгновение. В процессе сжатый контент распаковывается, а затем изменяется и повторно сжимается. Решение для транскодирования состоит из функций захвата, хранения и кодирования видео.

Управление видеопотоками данных. Решения для управления видеопотоками позволяют компаниям управлять видео. Включает следующие функции: поиск и обнаружение видеопотока, редактирование и управление контентом. В компаниях видеопотоки формируются с разных устройств: веб-камер, профессиональных камер, мобильных устройств, планшетов, электронных досок.

Доставка и распространение видеоданных. Осуществляется через сеть доставки контента. CDN помогает компаниям устранить пробелы, связанные с доставкой видеоданных повышенной безопасности, обеспечивает безопасность сети, предлагая гибкое и масштабируемое решение для доставки контента.

Видеоаналитика. Инструменты видеоаналитики включают в себя индексатор для извлечения произносимых ключевых слов из видеопотока, чтобы помочь в поиске и рекомендации, детектор движения, детектор лица для обнаружения лиц, детектор эмоций лица, распознавателя символов.

Видеобезопасность. Безопасность является важным параметром, который учитывается компаниями при выборе программного обеспечения для потоковой передачи видеоданных. Инструменты видеобезопасности обеспечивают сквозную защиту, которая гарантирует компаниям, что контент просматривается только авторизованными зрителями и не может быть записан и просмотрен нелегальными каналами распространения.

Другое. Этот сегмент собрал в себя такие решения, как монетизация видеовещания, видеоAPI и видеоплеер. Инструменты монетизации видеовещания помогают компаниям повысить доход и удержать клиентов благодаря анализу возможности просмотра видео, отслеживанию доходов и разработке успешных маркетинговых кампаний. Видеоплееры позволяют компаниям представлять записанный и живой контент целевой аудитории. API дают доступ

ко всем основным службам потоковой платформы. Они формируют возможность настройки и добавления функций в соответствии с конкретными потребностями потенциальных клиентов.

Вышеперечисленные данные были проанализированы из отчёта «Рынок программного обеспечения для потоковой передачи видео по решениям (транскодирование и обработка, управление видео, безопасность видео), сервису (профессиональному и управляемому), типу потоковой передачи (потоковая передача видео и видео по запросу), типу развертывания, по вертикали и региону – глобальный прогноз до 2022 г.» [2].

Сегментация по потребителям

Второй параметр, по которому проводилась сегментация. – по потребителям: вещание; банковские, финансовые услуги и страхование; здравоохранение; трансляция событий.

Видеовещание. Ключевыми потребителями данного сегмента являются IPTV-операторы, OTT-операторы, DVB-вещание, телеканалы и телестудии, провайдеры. Программное обеспечение для потоковой передачи видеоданных дает операторам и медиакомпаниям широкие возможности для создания социального и личного платного телевидения на различных устройствах. Программное обеспечение также помогает максимизировать монетизацию, минимизировать операционные издержки, предлагая более качественные услуги и улучшая возможности просмотра.

Банковские, финансовые услуги и страхование. Платформы потокового видеовещания отличаются высокой масштабируемостью и обеспечивают большую отдачу от инвестиций (RoI). Сегмент также принял платформы потокового видеовещания для облегчения анализа контента и отчетности, а также для обеспечения соответствия нормативным требованиям и управления рисками. Видеоконтент помогает собирать ключевые факты и детали, а также создавать эффективный инструмент обучения и обмена знаниями.

Здравоохранение. Сегмент здравоохранения, который занимается клинической, административной и финансовой деятельностью. Это рождает необходимость получения информации о распределенном канале и точной клинической информации. Корпоративные видеотехнологии повысили уровень ухода за пациентами, предоставляя возможности связи. С использованием видеооборудования пациенты и их родственники могут общаться друг с другом. Эти системы помогают врачам в обсуждении различных вариантов лечения. Более того, технология видеоконференц-связи вносит непосредственный вклад в мониторинг пациентов и консультирование.

Трансляция событий. Компании – организаторы крупных событий (соревнований, выступлений), которые необходимы для большой аудитории.

Бизнес-преимущества

Для ключевых потребительских сегментов были определены бизнес-преимущества. Бизнес-преимущества представляют собой информацию о сегментах, их потребностях и ценностях, которые имеет для них использование продукта «CodecWorks». Они выявлялись и составлялись в маркетинговом отделе компании совместно с специалистом по маркетингу. Бизнес-преимущества для вышеперечисленных сегментов представлены в таблице.

Бизнес-преимущества для потребительских сегментов

Задача	Кто решает задачу	Ценность
Вещатели		
Привести потоки к заданным параметрам (битрейт, кодек, протокол вещания)	Главный инженер, главный специалист отделов внедрения, эксплуатации	Отдел внедрения: наличие плана тестирования (соответствие всем тех. требованиям) и легкость интеграции с имеющимся оборудованием. Отдел эксплуатации: фиксированная и известная цена тех. поддержки, наличие реальной поддержки, наличие мониторинга, наличие резервирования и стабильность (бесперебойность) работы
Кодирование с целью уменьшения объема передаваемых и хранящихся данных с сохранением качества	Инженеры отдела безопасности	Снижение битрейта (объема данных) и сохранение качества картинки
Банковские, финансовые услуги и страхование		
Кодирование с целью уменьшения объема передаваемых и хранящихся данных с сохранением качества	Инженеры отдела безопасности	Снижение битрейта (объема данных) и сохранение качества картинки
Кодирование контента для раздачи в формате HLS	Директор	Доступ к контенту в любом месте, в любое время
Трансляция событий		
Вещание с минимальной задержкой	Инженеры	Сохранение качества вещания и минимальная задержка картинки в вещании

Заключение

За последние годы объем потребления медиаданных значительно увеличился, а с развитием технологий в области кодирования данных меняется и требование потребителей к качеству предоставляемых услуг. Продукт компании ЗАО «Элекард Девайсез» – «CodecWorks» поможет предоставить ключевым потребителям выделенных сегментов качественные услуги своим клиентам.

На выбор потенциальных потребителей влияет несколько факторов. Первый – необходимость в использовании всего функционала продукта. Второй больше относится к тем потребителям, которые уже сотрудничали с компанией и в каком-то виде пользовались её другими продуктами. Поэтому сегмент, в котором есть наличие таких потребителей, необходимо рассматривать в первую очередь. Они будут более лояльны к продукту по причине уже сложившихся впечатлений о компании, чем помогут в даль-

нейшем распространении и повышении востребованности данного продукта в других сегментах.

По результатам проведенных исследований можно сделать вывод о том, что компания в начале своего продвижения и вывода продукта на международный рынок в первую очередь будет охватывать следующие сегменты: вещатели; банковские, финансовые услуги и страхование; трансляцию событий.

Литература

1. About Product Marketing and Segmentation. – URL: https://www.universalclass.com/articles/business/about-product-marketing-and-segmentation.htm (дата обращения: 14.06.2019).

2. Video Streaming Software Market by Solution. – URL: https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/video-streaming-market-181135120.html (дата обращения: 09.06.2019).

3. Орлов В.Г., Пушкарев А.В. Перспективы развития мобильного видео // Технологии информационного общества. – 2013. – № 9. – С. 115–127 [Электронный ресурс]. – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/perspektivy-razvitiya-mobilnogo-video (дата обращения: 15.06.2019).

Гребёнкина Татьяна Юрьевна
Студентка каф. ТУ ТУСУРа
Эл. почта: t.grebenkina14@gmail.com

УДК 621.396.41

А.К. Мовчан, В.В. Капустин, М.И. Курячий, Е.С. Чалдина

Статистический анализ и экспериментальная оценка форм зон видения активно-импульсных телевизионных измерительных систем

Представлены результаты экспериментальных исследований по получению форм зон видения активно-импульсных телевизионных измерительных систем, их статистический анализ, а также сравнение с формами зон, полученных в результате моделирования. Приводятся описание принципа действия активно-импульсных телевизионных измерительных систем и основные технические характеристики макета системы, используемого при проведении экспериментальных исследований. Экспериментально подтверждено, что предлагаемые математические модели описания активных зон видения систем достаточно адекватно и эффективно описывают процесс их формирования и могут быть использованы при разработке и проектировании активно-импульсных телевизионных измерительных систем.

Ключевые слова: активная зона видения, трасса наблюдения, объект наблюдения, моделирование, статистический анализ.

Для обнаружения и распознавания объектов в сложных условиях видимости широко применяются активно-импульсные телевизионные измерительные системы (АИ ТИС), основным достоинством которых является подавление помехи обратного рассеяния и стабильная работа при низких контрастах в отличие от тепловизионных приборов наблюдения. В дополнение к перечисленным достоинствам АИ ТИС имеют возможность определять дистанцию до объектов за счет конструктивных особенностей и принципов их работы. АИ ТИС применяются при различных условиях наблюдения, что позволяет использовать их для защиты объектов, мониторинга обстановки на дороге, во время поисково-спасательных операций.

Принцип работы таких систем заключается в подсвете пространства с объектом интереса оптическими импульсами с длительностью, много меньшей времени прохождения света до объекта и обратно. На рис. 1 представлена структурная схема АИ ТИС.

Основным элементом приемника АИ ТИС является электронно-оптический преобразователь (ЭОП) [1], который кроме основной своей функции усиления оптического сигнала также выполняет функцию быстродействующего оптического затвора.

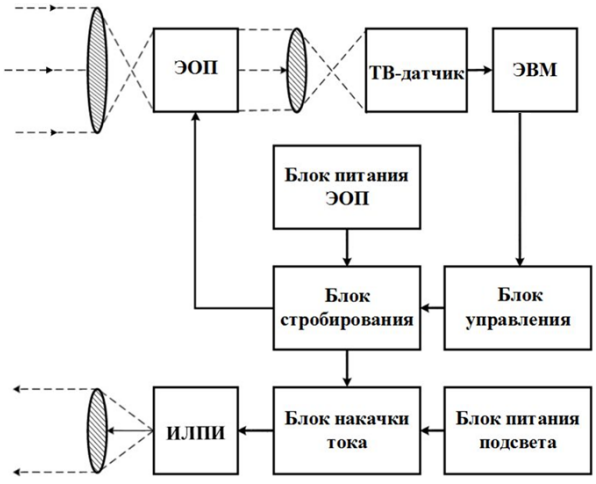


Рис. 1. Структурная схема АИ ТИС

При равенстве задержки открытия оптического затвора и длительности излученного оптического импульса времени прохождения света до объекта и обратно оператор АИ ТИС увидит изображение объекта и некоторую его окружающую область пространства. Источником оптических импульсов в таких системах может служить полупроводниковый

излучатель, а в качестве видеодатчика, формирующего изображение, используются матричные приборы с зарядовой связью (ПЗС) или комплементарной структуры металл–оксид–полупроводник (КМОП), согласованных оптически с экраном ЭОП [2].

Активная зона видения (АЗВ) АИ ТИС описывает изменение распределения световой энергии в зависимости от расстояния наблюдения и прозрачности среды, в которой распространяется излучение [3].

Форма АЗВ является результатом свёртки импульса подсвета и импульса стробирования ЭОП. В общем случае вид ее будет зависеть от значений длительностей и формы данных импульсов. Соответственно, при равных прямоугольных импульсах форма АЗВ будет описываться «треугольником», а в случае неравенства длительностей – «трапецией».

На рис. 2 представлена АЗВ при равных длительностях импульса подсвета t_L и стробирования ЭОП t_g. Положение центра АЗВ зависит от задержки стробирования фотоприемного устройства относительно излучения оптического импульса подсвета и обладает максимальной энергией.

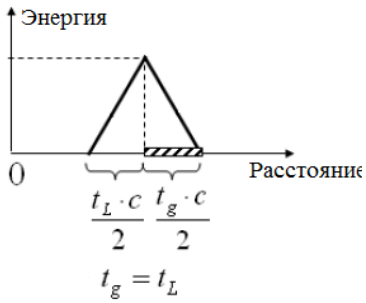


Рис. 2. Форма АЗВ при равных длительностях импульсов подсвета и стробирования ЭОП

Случай, когда длительность оптического импульса меньше длительности импульса стробирования ЭОП, представлен на рис. 3. Активная зона имеет форму «трапеции», а начало области максимальной энергии соответствует задержке стробирования ЭОП [4].

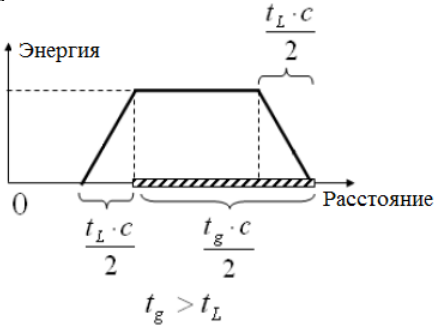


Рис. 3. Форма АЗВ для прямоугольных импульсов подсвета и стробирования ЭОП при $t_L < t_g$

В случае если длительность импульса стробирования ЭОП будет меньше длительности оптического импульса, АЗВ приобретет форму «трапеции», а конец области максимальной энергии будет соответствовать задержке стробирования ЭОП (рис. 4).

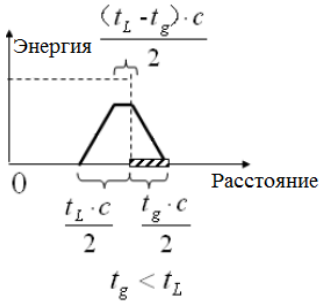


Рис. 4. Форма АЗВ для прямоугольных импульсов подсвета и стробирования ЭОП при $t_L > t_g$

Практически получить высоковольтные импульсы прямоугольной формы с наносекундной длительностью достаточно сложно, в связи с этим расчет форм АЗВ АИ ТИС необходимо производить с учетом некоторой протяженности фронтов импульсов подсвета и стробирования ЭОП. Высокая разрешающая способность АИ ТИС по глубине просматриваемого пространства возможна лишь при высокой точности и стабильности формирования задержек и длительностей стробирующих импульсов [5].

Кроме длительности фронтов импульсов на форму АЗВ также влияет ослабление оптического сигнала подсвета при прохождении его через малопрозрачную среду распространения.

Экспериментальная оценка измерения форм активных зон видения АИ ТИС

Эксперимент по измерению форм АЗВ проводился с использованием лабораторного макета АИ ТИС, внешний вид которого представлен на рис. 5. В состав системы входят: фотоприемное устройство, устройство подсвета, персональный компьютер (ПК), блок сопряжения с ПК.

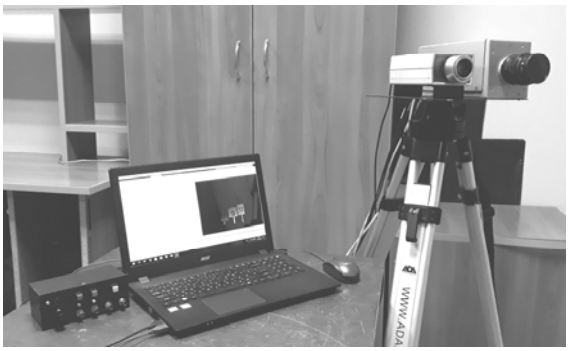


Рис. 5. Вид макета АИ ТИС

Дальность видения системы составляет порядка 180 м, угол поля зрения системы ограничен 12 град, подсвет осуществляется в инфракрасном диапазоне при длине волны, равной 842 нм, длительности импульсов подсвета и стробирования ЭОП изменяются в пределах от 30 до 120 нс, при этом частота повторения импульсов подсвета может составлять от 50 до 4950 Гц.

В качестве трассы наблюдения использовался коридор протяженностью 40 м и шириной 2,5 м, в котором были установлены в качестве объектов наблюдения транспаранты на дистанциях: 6; 7,5; 9; 12;

15; 18; 21; 24 м. Транспарант представляет собой лист белой бумаги с нанесенной на нем цифрой, означающей расстояние до него. На рис. 6 представлена трасса наблюдения.



Рис. 6. Внешний вид трассы наблюдения

Для сравнения форм АЗВ на различных дистанциях необходимо измерить формы этих зон и произвести их статистическую обработку.

Для получения массива форм АЗВ по всей трассе наблюдения необходимо выполнить видеосъемку транспарантов при изменении задержки стробирования ЭОП от 0 до 300 нс с шагом 5 нс при длительностях импульса стробирования ЭОП и импульса подсвета, равных 100 нс. Далее выполняется измерение средней яркости фрагментов изображений транспарантов для каждого видеокадра, соответствующего определенной задержке стробирования ЭОП. Полученные значения средних яркостей являются отсчетами форм АЗВ по всей трассе наблюдения. Экспериментально полученные формы АЗВ по трассе наблюдения приведены на рис. 7.

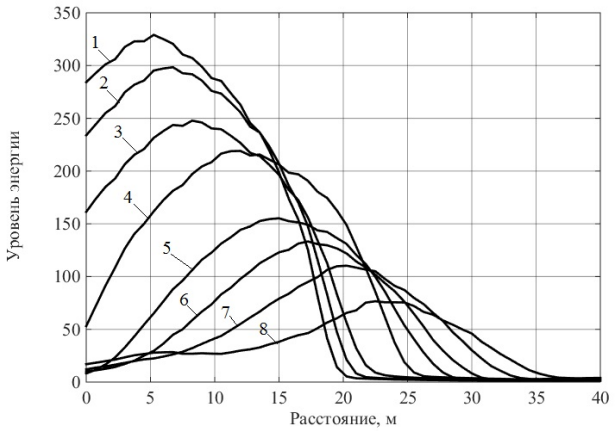


Рис. 7. Формы АЗВ на дистанциях: *1* – 6 м; *2* – 7,5 м; *3* – 9 м; *4* – 12 м; *5* – 15 м; *6* – 18 м; *7* – 21 м; *8* – 24 м

Для дальнейшего статистического анализа форм АЗВ необходимо произвести нормировку и совмещение полученных экспериментальных данных. На рис. 8 представлен график нормированных и совмещенных форм АЗВ.

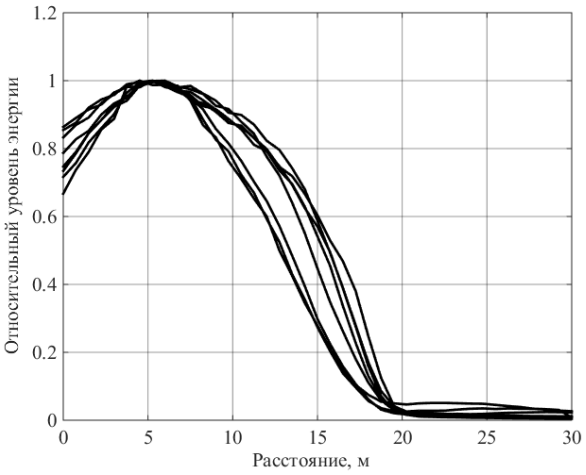


Рис. 8. График нормированных и совмещенных форм АЗВ

Одной из характеристик случайной величины является ее математическое ожидание. В данном случае случайными являются формы АЗВ. Для вычисления математического ожидания формы активной зоны видения воспользуемся выражением (1):

$$m_j = \frac{\sum_{i=1}^{N} x_{ij}}{N}, \qquad (1)$$

где x_{ij} – отсчеты формы АЗВ; N – количество зон.

На рис. 9 представлено математическое ожидание форм АЗВ.

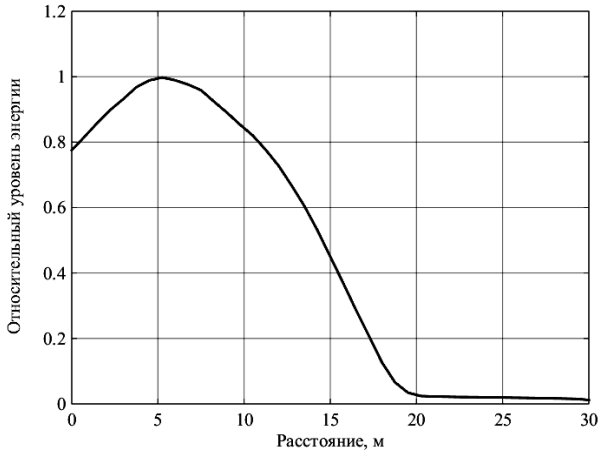


Рис. 9. Математическое ожидание форм АЗВ

Для измерения отклонения форм АЗВ воспользуемся формулой среднеквадратического отклонения (СКО), представленной в выражении (2):

$$\sigma_j = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N} (x_{ij} - m_j)^2}{N-1}}, \qquad (2)$$

где x_{ij} – отсчеты формы АЗВ; N – количество зон; m_j – математическое ожидание.

На рис. 10 представлены значения СКО форм АЗВ.

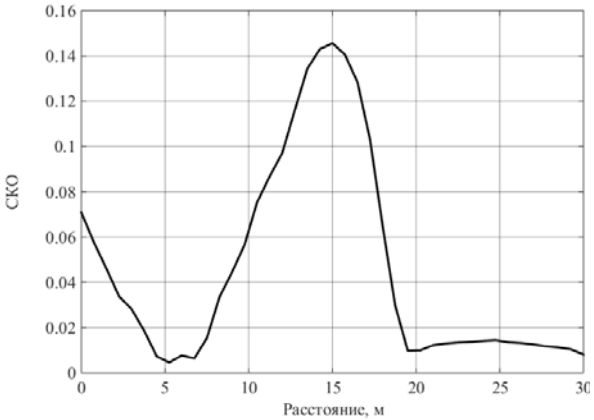


Рис. 10. График СКО форм АЗВ

Также представляет интерес сравнение полученных форм АЗВ с моделью зоны видения, полученной в результате свертки реального оптического импульса подсвета и импульса стробирования ЭОП. Форма оптического сигнала импульса подсвета представлена на рис. 11.

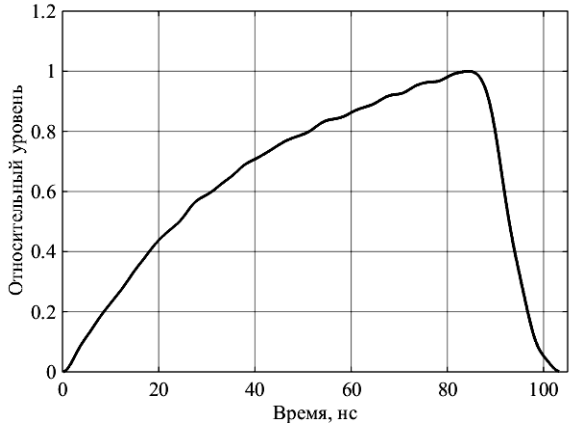


Рис. 11. Измеренная форма оптического сигнала импульса подсвета

На рис. 12 представлена измеренная форма электрического импульса сигнала стробирования ЭОП. Для вычисления свертки будет использован идеализированный импульс стробирования ЭОП трапецеидальной формы с длительностью переднего и заднего фронтов по 15 нс и длительностью вершины, равной 70 нс.

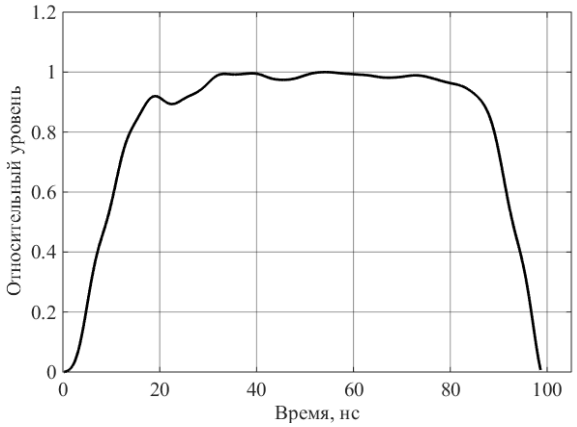


Рис. 12. Измеренная форма электрического сигнала импульса стробирования ЭОП

На рис. 13 представлена форма АЗВ, полученная в результате моделирования. При этом была выбрана задержка стробирования ЭОП, равная 100 нс. Также приведена форма АЗВ, полученная экспериментально для дистанции 15 м. Представляет интерес сравнение усреднённой по пространству АЗВ (см. рис. 9) с математической моделью АЗВ (рис. 13), для этого необходимо осуществить сдвиг математической модели зоны до совпадения максимумов сравниваемых зон.

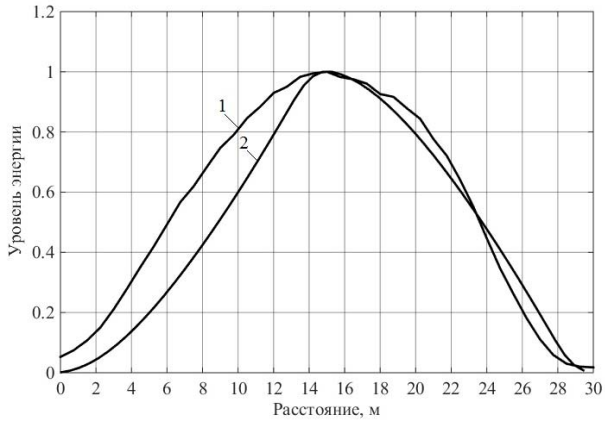


Рис. 13. Графики форм АЗВ: *1* – на дистанции 15 м (экспериментальные данные); *2* – модель

На рис. 14 представлены графики форм АЗВ, построенной по среднему значению (экспериментальные данные) и модели.

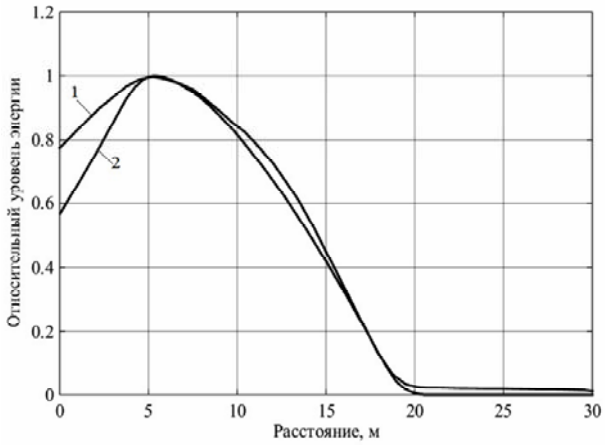


Рис. 14. Графики форм АЗВ: *1* – среднее значение (экспериментальные данные); *2* – модель

Из рис. 14 видно, что АЗВ, усреднённая по пространству, достаточно точно совпадает с моделью АЗВ по заднему фронту, в то же время по передним фронтам имеются расхождения, вызванные расширением передних фронтов зон, снятых на трассе наблюдения и, как следствие, внесших вклад в форму АЗВ среднего значения.

Заключение

В ходе эксперимента по получению форм АЗВ АИ ТИС определены формы зон видения по установленным на трассе наблюдения маркерным транспарантам на различных дистанциях от 6 до 24 м с

шагом от 1,5 до 3 м. Проведены статистический анализ полученных данных, а также сравнение с формами зон, полученных в результате моделирования. По полученным результатам можно сделать следующие выводы: при сравнении форм зон по дальности выявлены флуктуации ширины зон, а усредненная по дальности форма зоны также отличается от формы зоны, полученной в ходе математического моделирования АЗВ, а именно: наибольшее СКО по переднему фронту составляет 0,15, а по заднему фронту – 0,04. Полученные результаты статистического и сравнительного анализа способствуют пониманию процессов формирования зон видения АИ ТИС, что необходимо для разработки методов и алгоритмов прецизионного измерения дальности с помощью АИ ТИС.

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки России по проекту № 8.9562.2017/8.9 и РФФИ по научному проекту № 19-37-90141.

Литература

1. Николаев Д.Н. Электронно-оптические преобразователи. История развития и виды поколений // Доклады ТУСУР. – 2007. – № 1(15) – С. 29–33.

2. Активно-импульсные системы видения и алгоритмы определения расстояний до объектов / В.А. Горобец, В.В. Кабанов, В.П. Кабашников и др. // Журнал прикладной спектроскопии. – 2014. – Т. 81, № 2. – С. 283–291.

3. Капустин В.В. Активно-импульсные телевизионные измерительные системы для обеспечения навигации транспортных средств в сложных метеоусловиях / В.В. Капустин, А.К. Мовчан, Е.В. Зайцева и др. // Транспортные системы и технологии. – 2018. – Т. 4, № 1. – С. 68–83.

4. Xinwei W. Echo Broadening Effect in Range-Gated Active Imaging Technique / W. Xinwei, Z. Yan, F. Songtao // International Symposium on Photoelectronic Detection and Imaging 2009. – 2009. – P. 1–4.

5. Мищенко Н.И. Методы и средства повышения эффективности активно-импульсных телевизионно-вычислительных систем мониторинга и обеспечения безопасности объектов / Н.И. Мищенко, И.Н. Пустынский, В.В. Капустин // Доклады ТУСУР. – 2016. – Т. 19, № 3. – С. 42–46.

Мовчан Андрей Кириллович
Аспирант каф. ТУ ТУСУРа
ORCID 0000-0002-0020-6354
Эл. почта: mr.movchann@mail.ru

Капустин Вячеслав Валериевич
Канд. техн. наук, доцент каф. ТУ ТУСУРа
ORCID 0000-0002-2293-0511
Эл. почта: peregnun@mail.ru

Курячий Михаил Иванович
Канд. техн. наук, доцент каф. ТУ ТУСУРа
ORCID 0000-0002-3970-5644
Эл. почта: kur@tu.tusur.ru

Чалдина Елизавета Сергеевна
Студентка каф. ТУ ТУСУРа
Эл. почта: chaldinaliza97@gmail.com

УДК 654.17

Д.В. Титов

Методы и средства обработки спектрозональных изображений

Рассматриваются современные методы и средства обработки обработки спектрозональных изображений, которые находят свое применение в различных областях жизнедеятельности.
Проведенный анализ позволил разработать систему обработки и анализа спектрозональных изображений, а также её структурно-функциональную схему и алгоритм работы.
Ключевые слова: анализ, обработка, спектрозональное изображение, метод, средство, алгоритм.

В настоящий момент системы обработки и распознавания находят применение в различных областях [1–3]. Наиболее часто решаемыми задачами подобных систем являются измерения в различных спектральных диапазонах, измерение координат и признаков объектов, слежение за целью и другие. В связи с этим существующие требования к спектральному разрешению подобных систем достаточно высоки.

Анализ методов обработки спектрозональных изображений

Очень важно правильно выбрать метод обработки спектрозональных изображений. В связи с этим рассмотрим ниже общие требования, которые предъявляются к современным устройствам обработки и анализа спектрозональных изображений:

– работа в различных спектрах диапазона;
– высокое разрешение;
– итоговое изображение высокого качества.

В процессе работы со спектрозональными изображениями могут возникнуть ряд сложностей:

– сложный фон на исходном изображении;
– исходное изображение сильно отличается от эталонного;
– большое количество помех на исходном изображении.

На рис. 1 представлены основные этапы работы со спектрозональными изображениями [4, 5].

Первый этап – это этап восприятия исходного изображения: сначала считываются изображения со всех подключенных датчиков различных диапазонов спектра, после чего происходит передача изображений для последующей обработки.



Рис. 1. Основные этапы работы со спектрозональными изображениями

Вторым этапом является предварительная обработка, данный этап обязателен: благодаря проведенной работе на втором этапе происходит уменьшение шумов и помех на исходном изображении [6–8].

Третий этап – этап сегментации [9, 10]. На этапе сегментации необходимо выбрать оптимальный метод сегментации: в настоящий момент эффективными методами являются пороговый метод, метод наращивания и метод выделения границ.

Четвертым этапом является процедура фильтрации, направленная на уменьшение количества шумов на изображении, которые возникли на предыдущих этапах обработки спектрозонального изображения.

Заключительный этап – это этап распознавания.

В настоящий момент существует большое количество методов распознавания спектрозональных изображений, рассмотрим подробнее наиболее эффективные [11–14].

Метод контурного анализа

Суть данного метода заключается в работе с границами объекта: контуры распознаваемого объекта содержат всю требуемую информацию для распознавания. Данный метод может позволить снизить вычислительную нагрузку, а также решить задачу переноса или масштабирования объекта.

Данный метод может быть использован в режиме реального времени, процесс обнаружения и распознавания объекта на изображении возможно производить до завершения процедуры окончательной обработки исходного изображения. Недостатком метода является невозможность его применения в случае размытых нечетких границ распознаваемого объекта.

Метод распознавания, основанный на морфологических преобразованиях

Метод распознавания, основанный на морфологических преобразованиях, заключается в следующем. Сперва происходит построение результирующей нулевой поверхности, после чего входящее изображение начинает обрабатываться попиксельно. В процессе работы происходит морфологический анализ входящего изображения.

Данный метод имеет такие недостатки, как неопределенность выбора размера элемента, а также сложность при работе со сложными изображениями.

Метод главных компонент

Метод главных компонент актуален и эффективен в случае работы с изображениями большого размера: он позволяет преобразовать размерность без потери информации.

Суть метода заключается в разбивке всего векторного пространства на новое, в которое войдут как главные, так и второстепенные компоненты. В связи с возможностью не учитывать второстепенные компоненты можно пространство преобразовать в более меньшее.

Недостатком данного метода является очень высокое требование к качеству исходного изображения.

Метод распознавания объектов по цвету

Наиболее простым методом, используемым при распознавании и обработке спектрозональных изображений, является метод распознавания по цвету. При работе данного метода изображение переводится в формат HSV (от англ. Hue, Saturation, Value – тон, насыщенность, значение), потому что это дает возможность получить высокую точность распознаваемого объекта по цвету.

Однако данный метод невозможно использовать в случаях, когда объект на исходном изображении содержит несколько цветов либо границы объекта сильно размыты.

Метод распознавания объектов, основанный на шаблонном поиске

Суть данного метода заключается в поиске участков на исходном изображении, которые наиболее сходны с эталоном-шаблоном. Данный эталон-шаблон используется для сравнения с различными частями исходного изображения, после чего происходит принятие решения о правильном выбранном участке в случае совпадения данного участка с шаблоном.

Недостатком данного метода являются высокие временные и вычислительные затраты, необходимы для обработки и распознавания.

Метод окончательного принятия решения

Наиболее важным этапом является финальный этап, на котором требуется принять окончательное решение об обнаружении и распознавании необходимого объекта. При работе с различными спектральными изображениями возможна ситуация, когда происходит частичная потеря информации. Именно поэтому необходимо предварительно обработать и оценить исходные изображения для более качественной последующей работы.

Алгоритм окончательного принятия решения включает в себя следующую последовательность шагов.

1. Предварительная оценка исходных изображений, полученных в различных диапазонах спектра.

2. Предварительная обработка исходных спектрозональных изображений.

3. Распознавание исходных изображений с целью принятия решения об их качестве.

4. Комплексирование спектрозональных изобра-жений с целью получения изображения более высокого качества.

5. Предварительная обработка и распознаваниескомплексированного изображения.

6. Принятие окончательного решения.

Анализ средств обработки спектрозональных изображений

В настоящий момент системы распознавания и обработки спектрозональных изображений используют различные датчики, которые работают во всех

диапазонах спектра. Это позволяет получить изображение с высоким разрешением, однако возможна потеря энергии. Поэтому все большую популярность получают оптико-электронные устройства, в состав которых входят оптические системы на многослойных приемниках излучения (МПИ).

В настоящее время известны встраиваемые оптико-электронные системы, направленные на работу в различных диапазонах спектра и распознавание различных объектов. Известна модульная система [15], которая позволяет быстро настроить систему под решение определенной проблемы в связи с возможностью оперативной замены каких-либо блоков. Данная система может обрабатывать различные исходные изображения, находить определенные объекты на них, а также получать детализированное описание исходного изображения.

На качество итогового изображения влияет ряд показателей: возможность работы и адаптации оптико-электронного устройства к внешним воздействиям; искажения, влияющие на исходные изображения; диапазон спектра; достоверность получаемой первоначальной информации.

Искажения, влияющие на исходные изображения, могут быть вызваны погрешностями работы оптических систем, входящих в состав устройств. Наиболее эффективными способами снижения таких искажений являются введение дополнительных корректирующих линз, а также цифровая обработка всего изображения. Первый способ влияет на конструкцию и приводит к её усложнению и утяжелению.

Для рассмотрения второго способа необходимо выделить аберрации, которые вызывают геометрические искажения – дисторсию, сферическую аберрацию, кому, астигматизм.

Также качество функционирования устройств распознавания спектрозональных изображений во многом зависит от того, насколько правильно оно настроено и откалибровано. Например, в [16, 17] калибровка позволила устранить отклонения и привести внутренние и внешние параметры устройства к эталонным значениям.

Калибровка может быть как статическая (выполняется до начала функционирования оптико-электронных устройств), так и адаптивная (выполняется в процессе работы устройств). В обоих случаях калибровка осуществляется на основе нечетких множеств.

Для работы в различных диапазонах спектра применяют такие оптико-электронные устройства, как спектрометры, в основе работы которых лежит использование телоцентрической зеркальной системы.

Проведенный анализ существующих методов и средств обработки и анализ спектрозональных изображений позволили разработать систему обработки и анализа спектрозональных изображений, а также её структурно-функциональную схему и алгоритм работы.

Литература

1. Методы компьютерной обработки изображений / под ред. В.А. Сойфера. – М.: Физматлит, 2003. – 784 с.

2. Прэтт У. Цифровая обработка изображений / пер. с англ. под ред. Д.С. Лебедева. – М.: Мир, 1982. – 790 с.

3. Гонсалес Р. Цифровая обработка изображений / Р. Гонзалес, Р. Вудс. – М.: Техносфера, 2005. – 1072 с.

4. Якушенков Ю.Г. Теория и расчет оптико-электронных приборов: учеб. для студентов вузов. – М.: Логос, 1999. – 480 с.

5. Сальников И.И. Растровые пространственно-временные сигналы в системах анализа изображений. – М.: Физматлит, 2009. – 248 с.

6. Фурман Я.А. Введение в контурный анализ и его приложения к обработке изображений и сигналов / Я.А. Фурман, А.В. Кревецкий, А.К. Передреев и др. // Под ред. Я.А. Фурмана. – М: Физматлит, 2002. – 592 с.

7. Szeliski R. Computer Vision: Algorithms and Applications. – Springer, 2010. – 812 p.

8. Sonka M. Image Processing, Analysis and Machine Vision / M. Sonka, V. Hlavac, R. Boyle. – CL Engineering, 2007. – 872 p.

9. Фисенко В.Т. Компьютерная обработка и распознавание изображений: учеб. пособие / В.Т. Фисенко, Т.Ю. Фисенко. – СПб.: СПбГУ ИТМО, 2008. – 192 с.

10. Желтов С.Ю. Обработка и анализ изображений в задачах машинного зрения. – М.: Физматкнига, 2010. – 672 с.

11. Титов Д.В. Теоретические основы цифровой обработки изображений встраиваемых оптико-электронных устройств / Ю.С. Бехтин, Д.В. Титов, С.Г. Емельянов. – М.: Аргамак-Медиа, 2016. – 296 с.

12. LeVan P.D. Perspectives on Dualband Infrared Focal Plane Array Efforts // Proc. SPIE. – 2004. – Vol. 5563. – P. 130–140.

13. Krishnamoorthy S. Implementation and Comparative Study of Image Fusion Algorithms / S. Krishnamoorthy, K.P. Soman // International Journal of Computer Application (0975-8887). – 2010. – Vol. 9, No. 2.

14. Алпатов Б.А. Методы автоматического обнаружения и сопровождения объектов. Обработка изображений и управление / Б.А. Алпатов, П.В. Бабаян, О.Е. Балашов, А.И. Степашкин. – М.: Радиотехника, 2008. – 176 с.

15. Титов Д.В. Встраиваемая интеллектуальная оптико-электронная система видеонаблюдения // Электронные средства и системы управления: матер. VI Междунар. науч.-практ. конф. – Томск: ТУСУР, 2010. – С. 164–165.

16. Титов Д.В. Патент № 2321888 Российская Федерация. Способ калибровки дисторсии оптико-электронного устройства / Д.В. Титов, А.Н. Стрелкова, М.И. Труфанов; правообладатель: ФГБОУВО «Юго-Западный государственный университет». – Заявл. 16.10.2006; опубл. 10.04.2008.

17. Титов Д.В. Патент № 2382515 Российская Федерация. Способ калибровки системы технического зрения из трех видеокамер и устройство для его реализации / Д.В. Титов, М.И. Труфанов; правообладатель: ФГБОУВО «Юго-Западный государственный университет». – Заявл. 23.12.2008; опубл. 20.02.2010; БИ № 5.

Титов Дмитрий Витальевич
Д-р техн. наук, доцент, профессор каф. ВТ ЮЗГУ
https://orcid.org/0000-0001-5256-5968
Эл. почта: amazing2004@inbox.ru

УДК 621.397.01

А.С. Захлебин

Подсчет объема насыпи полезных ископаемых с использованием БПЛА вертолетного типа DJI Phantom 4 PRO

Рассматривается возможность подсчета объемов насыпи полезных ископаемых на примере песчано-гравийного карьера с использованием бюджетного беспилотного летательного аппарата (БПЛА) DJI Phantom 4 PRO. Оценена точность определения объема насыпи. Проведен сравнительный анализ классического метода подсчета объема насыпи полезных ископаемых маркшейдером и метода, предложенного в данной статье.

Ключевые слова: ортофотоплан, объем, БПЛА, изображение, детализация изображений, обработка, GNSS-приемник, модель, плотное облако точек.

В последние годы области применения беспилотных летательных аппаратов становятся шире. Тем самым сокращается время и стоимость выполнения различных работ. При всем этом качество работ улучшается по сравнению с традиционными методами.

Проводился эксперимент по подсчету объема готовой продукции на складе горнодобывающего предприятия. Деятельность таких предприятий сопровождается маркшейдерской службой. Но, как показывает практика, традиционная тахеометрическая съемка горнодобывающего предприятия требует одновременной вовлеченности нескольких специалистов маркшейдерской службы. Также этот процесс сильно растягивается во времени. Для повышения эффективности и качества выполнения работ предложен способ использования беспилотного летательного аппарата (БПЛА) вертолетного типа DJI Phantom 4 PRO (рис. 1). Данная модель является массовой, что в свою очередь делает ее бюджетной при практическом использовании. Квадрокоптеру не нужно много свободного пространства для взлета, что очень актуально в условиях его использования на горнодобывающих предприятиях. Он способен работать в условиях низких температур и при скорости ветра до 10 м/с. БПЛА имеет на своем борту камеру с матрицей 20 мегапикселей, закрепленную на стабилизирующем трёхосевом подвесе.



Рис. 1. БПЛА DJI Phantom 4 PRO

В процессе подготовки к полетам, на местности была разложена сеть опознавательных знаков для точного определения плановой и высотной отметок при камеральной обработке [1]. В качестве опознавательных знаков использовались пластиковые тарелки диаметром 10 см. Их координаты были точно определены геодезическим приемником Trimble R8.

Далее было сформировано полетное задание для БПЛА (рис. 2), в котором заданы скорость полета, высота, площадь исследуемой территории.

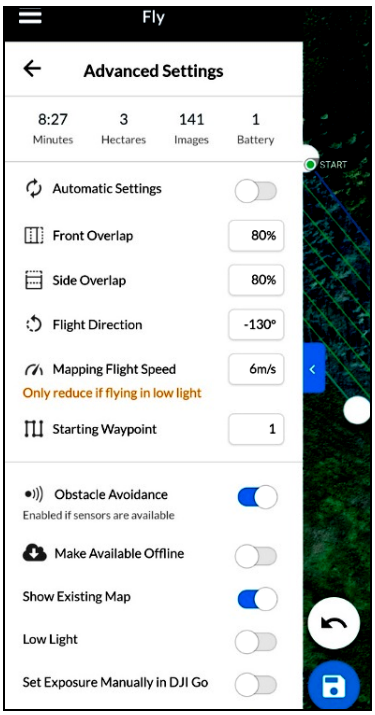


Рис. 2. Полетное задание

Продольное и поперечное перекрытие снимков было задано с запасом и составляло 80%. Как видно из рис. 2, время полета над заданной территорией составило 8 мин 27 с.

В результате выполнения полетного задания был сформирован видеоряд из 141 снимка.

Камеральная обработка проводилась в программе для фотограмметрической обработки изображений Agisoft Photoscan [2]. В результате было получено плотное облако точек (3D-модель) исследуемой территории (рис. 3), а также выделена граница насыпи. По детализации и точности плотное облако точек можно сравнивать с результатом высокоточного лазерного сканирования.

Для производственных целей предприятия были построены карта высот (рис. 3) и ортофотоплан местности (рис. 4). Разрешение ортофотоплана составило 1,6 см/пиксель.



Рис. 3. 3D-модель исследуемой области

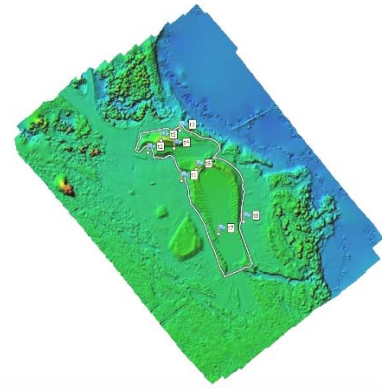


Рис. 4. Карта высот местности

На следующем этапе была удалена территория, прилегающая к насыпи, в результате чего была получена точная и детализированная модель склада готовой продукции (рис. 5).

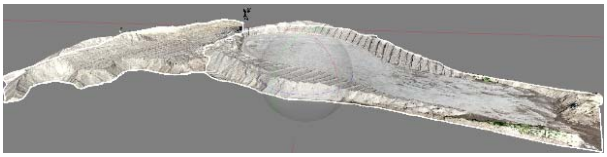


Рис. 5. 3D-модель склада готовой продукции

После экспорта данной модели, дальнейшая обработка осуществлялась в программном продукте Autodesk Civil 3D.

По импортированному плотному облаку точек склада готовой продукции была сформирована поверхность насыпи (рис. 6).

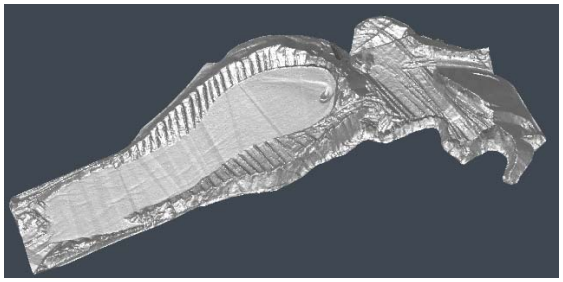


Рис. 6. Поверхность, построенная по плотному облаку точек

При обработке видеоряда была смоделирована нулевая поверхность – земля. После чего был подсчитан объем насыпи на основании разницы между нулевой поверхностью и поверхностью, построенной по плотному облаку точек склада готовой продукции [3].

Конечный результат отличался от классического метода подсчета объема на 62 м^3, что составляет 0,57% от всего объема склада. Такая погрешность соответствует требованиям законодательства и контролирующих органов [4].

Выводы

1. Технология подсчета объемов на горнодобывающих предприятиях с использованием БПЛА вертолетного типа DJI Phantom 4 Pro соответствует требованиям по точности и достоверности оценки объемов полезных ископаемых.

2. Разница между классическим и предложенным методами составила 0,57%.

3. Для проведения подобных работ от подготовки полетного задания до конечного результата на территории по площади сопоставимой с той, которая исследовалась в эксперименте требуется меньше суток. Также для этого требуется только один сотрудник.

4. Применение данной технологии позволит делать съемку в опасных и труднодоступных местах, не подвергая сотрудников предприятия неоправданным рискам.

5. Полеты БПЛА проходят в автоматическом режиме и не требуют от оператора специальных навыков управления ими.

6. Видеоряд обладает большей информативностью, по сравнению с традиционной тахеометрической съемкой.

7. Результаты аэрофотосъемки применимы для построения топографических планов горнодобывающих и других территориально распределенных предприятий.

Литература

1. Шумилов Ю.В. Применение беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) в технологии точного земледелия / Ю.В. Шумилов, Р.Ю. Данилов, И.А. Костенко и др. // Молодой ученый. – 2015. – № 9.2. – С. 100–147.

2. Руководство пользователя Agisoft PhotoScan [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.geoscan.aero/ru/software/photoscan#tab-user-manuals, свободный (дата обращения: 03.10.18).

3. Применение БПЛА для решения горнотехнических задач [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://russiandrone.ru/publications/primenenie-bpla-dlya-resheniya-gornotekhnicheskikh-zadach, свободный (дата обращения: 18.09.19).

4. Инструкция по производству маркшейдерских работ [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://enis.gosnadzor.ru/activity/control/geology/%D0%A0%D0%94%2007%E2%80%91603%E2%80%9103.pdf, свободный (дата обращения: 03.10.19).

5. Захлебин А.С. Построение ортофотоплана местности с использованием БПЛА вертолетного типа DJI PHANTOM 4 // Матер. XIV науч.-практ. конф. «Электронные средства и системы управления». – Томск: В-Спектр, 2018. – С. 159–161.

Захлебин Александр Сергеевич
Аспирант каф. ТУТУСУРа
Эл. почта: alex670711@yandex.ru

Секция 19

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ В ЕСТЕСТВЕННЫХ И ТЕХНИЧЕСКИХ НАУКАХ

*Председатель секции – **Зариковская Наталья Вячеславовна,** доцент каф. АОИ, канд. физ.-мат. наук*

УДК 519.688:622.276

Донг Ван Хоанг

Модели и алгоритмы адаптивной диагностики фильтрационных потоков в процессе гидродинамических исследований горизонтальных скважин

Рассматриваются модели и алгоритмы метода адаптивной диагностики фильтрационных потоков в процессе проведения гидродинамических исследований горизонтальных скважин по кривой восстановления давления с учетом дополнительной априорной информации. Приводятся результаты сравнительного анализа графоаналитического, аналитического и предложенного адаптивного метода диагностики потоков по промысловым данным.
Ключевые слова: диагностика, гидродинамические исследования скважин, фильтрационные потоки, кривая восстановления давления, идентификация, горизонтальные скважины.

Актуальной проблемой при идентификации и интерпретации результатов гидродинамических исследований горизонтальных скважин (ГДИС) по кривой восстановления забойного давления является диагностика фильтрационных потоков. В настоящее время на практике используются аналитические и графоаналитические методы для выделения потоков [1–3].

В основе аналитического метода используются приведенные в табл. 1 формулы для определения моментов времени начала фильтрационных потоков. Недостатком аналитических методов диагностики потоков является присутствие в формулах неизвестных значений горизонтальной k_y, вертикальной k_z проницаемости призабойной зоны скважин и эффективной длины горизонтального ствола скважины L, для определения которых и проводятся гидродинамические исследования скважин [3].

Графоаналитические методы выделения потоков, реализованные в ряде программ интерпретации ГДИС, основаны на анализе логарифмической производной забойного давления (ЛПЗД) [1, 2].

$$y(t)=\lg\left(\frac{\mathrm{d}\Delta P_3(t)}{\mathrm{d}\ln t}\right)=\alpha_1+\alpha_2\lg t\ , \qquad (1)$$

где $\Delta P_3(t)=P_3(t)-P_3(t_0)$; $P_3(t)$ – забойное давление после остановки скважины; $P_3(t_0)$ – забойное давление в момент остановки скважины t_0.

В табл. 1 приведены диагностические критерии выделения потоков графоаналитического метода и формулы начала потоков аналитического метода, где D_z – наибольшее расстояние между скважиной и границей в направлении оси Z; k_y, k_z – проницаемости призабойной зоны скважины в направлении оси Y и оси Z; ϕ – пористость; μ – динамическая вязкость нефти; c_t – сжимаемость системы пласта; L – эффективная длина горизонтальной скважины.

Таблица 1

Традиционные методы диагностики фильтрационных потоков горизонтальных скважин

Фильтрационные потоки	Критерий графоаналитического метода [2, 5]	Критерий аналитического метода [3]
Ранний радиальный	$\frac{\mathrm{d}P_3}{\mathrm{d}\ln t}\approx\mathrm{const}$	$t_{\text{ррп}}=\frac{160{,}9L^2\phi\mu c_t}{k_y}$
Линейный	Наклон прямой равен $0{,}5\pm\Delta$, $\Delta=0{,}1\div0{,}15$	$t_{\text{лп}}=\frac{2316{,}6\phi\mu c_t D_z^2}{k_z}$
Поздний радиальный	$\frac{\mathrm{d}P_3}{\mathrm{d}\ln t}\approx\mathrm{const}$	$t_{\text{прп}}=\frac{1904{,}8L^2\phi\mu c_t}{k_y}$

Отметим, что использование традиционных аналитического и графоаналитического методов выделения потоков в процессе проведения испытаний скважин в промысловых условиях вызывает значительные трудности, поскольку требуют достоверной информации о состоянии призабойной зоны скважин (аналитические методы) либо детального анализа производных забойного давления с привлечением квалифицированных интерпретаторов (графоаналитические методы).

В настоящее время в нефтегазовых компаниях широко используются стационарные информационно-измерительные телеметрические системы долговременного мониторинга параметров разработки, что дает возможность применять адаптивные технологии идентификации и диагностики нефтяных и газовых пластов в процессе проведения испытаний скважин без участия квалифицированного интерпретатора в режиме реального времени [4–7].

В этой связи в работе для выделения фильтрационных потоков в процессе проведения испытаний горизонтальных скважин предлагается адаптивный метод диагностики с использованием модели (1).

Модели и алгоритмы адаптивного метода диагностики фильтрационных потоков

Основой предлагаемого адаптивного метода диагностики фильтрационных потоков является интегрированная система моделей (ИСМ) с учетом дополнительной априорной информации:

$$\begin{cases} y^*(t_n)=\alpha_1(t_n)+\alpha_2(t_n)\lg t_n+\xi_n, \\ \overline{\alpha}_1=\alpha_{1,n}+\eta_n, n=\overline{1,nk}, \end{cases} \quad (2)$$

где $y^*(t_n)=\ln\left(\frac{\Delta P^*(t_n)-\Delta P^*(t_{n-1})}{\ln t_n-\ln t_{n-1}}\right)$ – конечно-разностная аппроксимация ЛПЗД (1) на основе разности забойных давлений $\Delta P_3^*(t_n)=P_3^*(t_n)-P_3^*(t_0)$, полученных в процессе гидродинамических исследований скважины; $P_3^*(t_n)$, $P_3^*(t_0)$ – значения забойных давлений в текущий момент времени t_n и в момент остановки скважины t_0; $\alpha_1(t_n),\alpha_2(t_n)$ – параметры, представленные неизвестными однозначными функциями дискретного времени t_n; $\overline{\alpha}_1$ – дополнительная информация о параметре α_1; t_{nk} – момент времени завершения испытаний скважины; ξ_n,η_n – случайные величины, представляющие разного рода погрешности и ошибки модели (2).

Для использования адаптивного метода идентификации модель (2) удобно представить в матричном виде

$$\begin{cases} \mathbf{y}_n^*=F_0\boldsymbol{\alpha}_n+\boldsymbol{\xi}_n, \\ \overline{\boldsymbol{\alpha}}=F_a\boldsymbol{\alpha}_n+\mathbf{v}_n. \end{cases} \quad (3)$$

Тогда оптимальные оценки вектора параметров $\boldsymbol{\alpha}_n^*=(\alpha_1(t_n),\alpha_2(t_n))$ и управляющие параметры согласно адаптивному методу могут быть получены путем решения оптимизационной задачи [4–8]:

$$\alpha_n^*(\beta_n)=\arg\min_{\alpha_n}\Phi(\alpha_n,\beta_n), \quad (4)$$

$$\boldsymbol{\beta}_n^*=\arg\min_{\boldsymbol{\beta}_n}J_0\left(\boldsymbol{\alpha}_n^*(\boldsymbol{\beta}_n)\right), \quad (5)$$

где запись $\arg\min_x f(x)$ означает точку минимума x^* функции $f(x)$ $(f(x^*)=\min_x f(x))$; $\Phi=J_0+J_a$ – общий показатель качества модели (3); J_0 – критерий качества модели $F_0\boldsymbol{\alpha}_n$ (3); J_a – показатель качества модели $F_a\boldsymbol{\alpha}_n$ (3); $\mathbf{y}_n^*=(y^*(t_n),n=\overline{1,nk})$ – вектор конечно-разностных значений ЛПЗД (2); $\mathbf{F}_0=\begin{pmatrix}1 & 1 & \dots & 1\\ \lg t_1 & \lg t_2 & \dots & \lg t_{nk}\end{pmatrix}$, $\mathbf{F}_a=\mathrm{diag}(0,1)$ – матрицы; $\overline{\boldsymbol{\alpha}}=(0,\overline{\alpha}_2)$ – вектор дополнительных сведений; $\boldsymbol{\beta}_n$ – вектор управляющих параметров.

В табл. 2 приведены критерии адаптивного метода диагностики фильтрационных потоков в процессе проведения испытаний скважин, следующие из (2)–(5) и табл. 1.

Таблица 2

Критерии адаптивного метода диагностики фильтрационных потоков горизонтальных скважин

Фильтрационные потоки	Критерии адаптивного метода	Критерии моментов времени начала потоков
Ранний радиальный	$\alpha_2^*\left(\beta_n^*(t)\right)\approx 0$	$t_{\text{ррп}}=\arg\min_t\left\|\alpha_2^*(\boldsymbol{\beta}_n(t))\right\|$
Линейный	$\alpha_2^*\left(\beta_n^*(t)\right)=0{,}5\pm\Delta,$ $\Delta=0{,}1\div 0{,}15$	$t_{\text{лп}}=\arg\min_t(\alpha_2^*(\boldsymbol{\beta}_n(t))-0{,}5)$
Поздний радиальный	$\alpha_2^*\left(\beta_n^*(t)\right)\approx 0$ при $t>t_{\text{л}}$	$t_{\text{ррп}}=\arg\min_t\left\|\alpha_2^*(\boldsymbol{\beta}_n(t))\right\|$ при $t>t_{\text{л}}$

Результаты диагностики потоков по промысловым данным

Результаты исследований моделей и алгоритмов адаптивного метода выделения фильтрационных потоков по данным испытаний горизонтальной скважины № 1 нефтяного месторождения Тюменской области приведены на рис. 2–3 и в табл. 3.

На рис. 1 изображены фактические значения забойных давлений $P_3^*(t_i)$, $i=\overline{1,n}$ (2), полученные в процессе проведения гидродинамических исследований скважины № 1, в полулогарифмических координатах: $P_3^*(t_i)$ – по оси Y, $\lg t_i$ – по оси X.

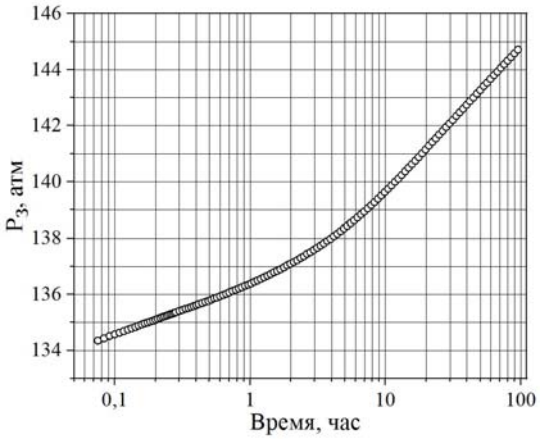


Рис. 1. Фактические значения забойных давлений горизонтальной скважины № 1

На рис. 2 приведены фактические $y^*(t_n)$ и восстановленные

$$\hat{y}(t_n)=\alpha_1^*(\boldsymbol{\beta}_n(t_n)+\alpha_2^*(\boldsymbol{\beta}_n(t_n))\lg t_n \qquad (6)$$

значения ЛПЗД (2) в двойных логарифмических координатах (линии (*1*, *2*) и оценки параметра $\alpha_2^*(\boldsymbol{\beta}_n)$ модели (2) (линия *3*), полученные из (4).

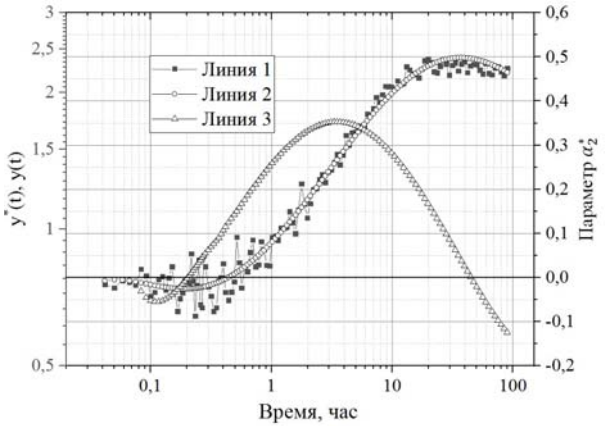


Рис. 2. Фактические (линия *1*), восстановленные (линия *2*) значения ЛПЗД и оценки параметра $\alpha_2^*(\boldsymbol{\beta}_n)$ (линия *3*) скважины № 1

На рис. 3, для примера, приведены оценки параметра $\alpha_2^*(\boldsymbol{\beta}_n)$ (линия *1*) с использованием фактических $y^*(t_i)$ (2) и восстановленных (5) значений ЛПЗД скважины №1 (линия *2*).

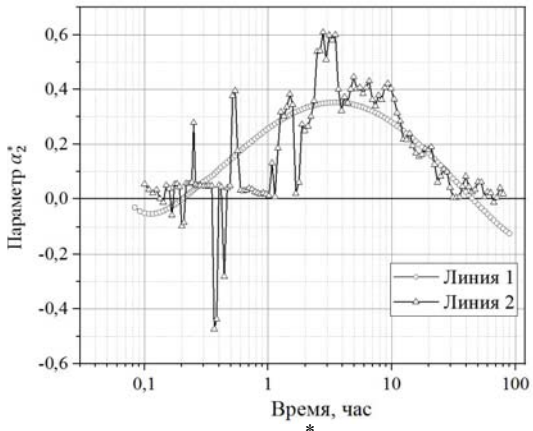


Рис. 3. Оценки параметра $\alpha_2^*(\boldsymbol{\beta}_n)$ скважины № 1

В табл. 3 приведены результаты сравнительного анализа моментов времени начала фильтрационных потоков горизонтальной скважины № 1 графоаналитического, аналитического и адаптивного методов.

Анализ результатов, приведенных на рис. 2, 3 и табл. 3, показывает, что оценки времени начала фильтрационных потоков, полученные с использованием диагностических критериев графоаналитического и адаптивного методов, практически совпадают. Так, например, линейный поток появляется через час после остановки скважины, а заканчивается через 26 ч. Однако адаптивный метод позволяет определять фильтрационные потоки на кривой забойного давления горизонтальных скважин в процессе проведения испытаний в промысловых условиях.

Таблица 3

Результаты диагностики фильтрационных потоков горизонтальной скважины № 1

Метод диагностики потоков	Время начала потоков, час		
	Ранний радиальный поток	Линейный поток	Поздний радиальный поток
Графоаналитический	0,12	0,97	26,9
Аналитический	0,065	0,6	381,8
Адаптивный	0,25	1,1	30,95

Использование аналитического метода и экспертных оценок проницаемости пласта приводит к значительным ошибкам определения фильтрационных потоков (см. табл. 3).

Выводы

Предложены модели и алгоритмы адаптивного метода диагностики фильтрационных потоков с использованием логарифмической производной забойного давления с переменными параметрами с учетом дополнительной информации и адаптивных алгоритмов идентификации для решения задачи параметрического синтеза в процессе гидродинамических исследований скважин с горизонтальным окончанием.

По результатам исследований горизонтальной скважины нефтяного месторождения показано, что разработанные модели и алгоритмы диагностики не уступают по точности графоаналитическому методу и позволяют определять фильтрационные потоки в процессе проведения испытаний скважин.

Литература

1. Кременецкий М.И. Информационное обеспечение и технологии гидродинамического моделирования нефтяных и газовых скважин / М.И. Кременецкий, А.И. Ипатов, Д.Н. Гуляев. – М.: Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2012. – 896 с.

2. Bourdet D. Well test analysis: The use of advanced interpretation models. – Amsterdam: Elsevier Science, 2002. – 426 p.

3. Odeh A.S. Transient flow behavior of horizontal well: Pressure drawdown and buildup analysis / A.S. Odeh, D.K. Babu // Society of Petroleum Engineers. – 1990. – No. 18802. – P. 7–15.

4. Sergeev V.L. Adaptive identification and interpretation of pressure transient tests of horizontal wells: Challenges and perspectives / V.L. Sergeev, Dong Van Hoang // Proc. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2016. – Vol. 43, No. 1. – P. 1–6.

5. Сергеев В.Л. Идентификация фильтрационных потоков в процессе гидродинамических исследований горизонтальных скважин с трещинами гидроразыва пласта / В.Л. Сергеев, Донг Ван Хоанг // Изв. Том. политехн. ун-та. Инжиниринг георесурсов. – 2019. – Т. 330, № 3. – С. 103–110.

6. Сергеев В.Л. К оптимизации адаптивных алгоритмов идентификации и интерпретации гидродинамических исследований с учетом влияния ствола скважины / В.Л. Сергеев, К.Д. Ву // Доклады ТУСУР. – 2016. – Т. 19, № 3. – С. 98–102.

7. Сергеев В.Л. Интегрированные системы идентификации. – Томск: Изд-во Том. политехн. ун-та, 2011. – 198 с.

8. Пантелеев А.В. Методы оптимизации в примерах и задачах / А.В. Пантелеев, Т.А. Летова. – М.: Высшая школа, 2002. – 544 с.

Донг Ван Хоанг
Аспирант отд. нефтегазового дела ИШПР НИ ТПУ
Эл. почта: hoang.tpu@gmail.com

УДК 519.872:519.248

А.П. Кирпичников, М.Н. Томилова

О характеристиках открытых многоканальных систем массового обслуживания с частичной взаимопомощью между каналами

Дан обзор систем массового обслуживания с взаимопомощью между каналами. Оговорены начальные условия подобной системы массового обслуживания и полное описание дисциплины взаимопомощи между обслуживающими устройствами – составлена математическая модель. Рассматривается наиболее общая модель открытой многоканальной системы массового обслуживания с очередью конечной длины и с частичной или полной взаимопомощью между каналами. Приведен граф состояний системы массового обслуживания, который подробно описывает ее функционирование. Авторами выведены формулы вероятностей нахождения в системы одновременно k заявок при одновременной работе m обслуживающих устройств, а также формула вероятности полного простоя системы массового обслуживания, т.е. такого состояния, когда в системе полностью отсутствуют заявки. В работе рассчитаны вероятностные характеристики системы для некоторых особых случаев значений приведенной интенсивности входящего потока заявок. Проведено сравнение полученных формул вероятностных характеристик с аналогичными формулами открытой многоканальной системы массового обслуживания типа M/M/m/E согласно классификации М. Кендалла. Рассчитанные вероятностные характеристики открытой многоканальной системы массового обслуживания с частичной взаимопомощью между каналами позволяют авторам в дальнейшем приступить к вычислению и анализу числовых характеристик установившегося режима описываемой системы.

Ключевые слова: система массового обслуживания, открытые системы массового обслуживании с частичной взаимопомощью, вероятностные характеристики.

Системы массового обслуживания (СМО) с взаимопомощью предполагают, что, в отличие от классических систем, для обслуживания одной заявки может быть использовано более одного обслуживающего устройства при условии, что в системе есть незанятые каналы обслуживания. Взаимопомощь между каналами в таких СМО может быть организована различными способами. Например, использовать для обслуживания одной заявки одновременно все существующие каналы. В этом случае получаем классическую СМО с одним каналом, но более высокой, чем в классической СМО, интенсивностью обслуживания. Также возможен вариант такого распределения каналов между заявками, что после поступления в систему каждой новой заявки обслуживающие устройства будут перераспределяться между заявками, находящимися в системе, до тех пор, пока количество заявок под обслуживанием не станет равно количеству каналов [1–3].

Постановка задачи

Рассмотрим многоканальную СМО открытого типа. Пусть количество каналов для рассматриваемой системы составляет m, поток заявок и поток обслуживания – простейшие потоки. Плотность потока заявок обозначим λ, плотность потока обслуживания – μ.

Начальные условия задачи приведены в таблице.

Условия функционирования СМО

№ п/п	Кол-во заявок в системе	Количество каналов, одновременно занятых в обслуживании одной заявки	Область допустимых значений n	Количество занятых в обслуживании каналов	Общая производительность
1	1	n	$1 \le n \le m$	n	$n\mu$
2	2	n	$2n \le m$	$2n$	$2n\mu$
3	3	n	$3n \le m$	$3n$	$3n\mu$
4	$i, i \in \mathbb{N}$	n	$in < m$	in	$in\mu$
5	$i, i \in \mathbb{N}$	n	$in = m$	m	$m\mu$
6	$i, i \in \mathbb{N}$	$\le n$	$in > m$	m	$m\mu$
7	$i, i \in \mathbb{N}$	1	$i > m$	m*	$m\mu$

* В этом случае образуется очередь.

Условие (п. 1 таблицы) звучит следующим образом: если поступившая на вход системы поступает одна заявка, при этом все каналы свободны, то она обслуживается одновременно n каналами ($1 \le n \le m$) с общей производительностью $n\mu$.

Если в СМО находятся две заявки (см. п. 2 таблицы), то при $2n \le m$ каждая из них будет обслуживаться одновременно n каналами, то есть две заявки будут обслуживаться одновременно $2n$ каналами общей производительностью $2n\mu$.

Аналогично трактуются оставшиеся записи таблицы. Однако, в последнем случае (см. п. 7 таблицы) необходимо учитывать возникновение очереди на обслуживание.

На рис. 1 приведен граф состояний и переходов описанной выше СМО.

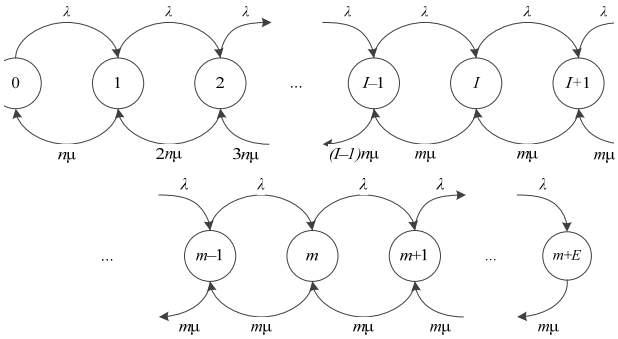


Рис. 1. Граф состояний и переходов СМО

Здесь I соответствует тому состоянию, начиная с которого, в обслуживании будут заняты все m каналов.

В том случае, если $in=m$, т.е. m кратно n, очевидно, имеем $I=m/n$.

В частности, при $n=1$ отсюда следует $I=m$ (хорошо изученный случай системы массового обслуживании без взаимопомощи между каналами), а при $n=m$ имеем $I=1$ (система массового обслуживания с полной взаимопомощью между каналами).

В том случае, если $in>m$, тогда $I=\lfloor m/n \rfloor+1$, где квадратные скобки означают целую часть дроби m/n.

Вероятностные характеристики

Решив систему уравнений Колмогорова для исследуемой СМО с учетом условия нормировки (1), получили вероятности возможных состояний системы массового обслуживания с частичной взаимопомощью, иначе говоря, вероятность нахождения в системе k заявок (2). Отношение плотности потока заявок к плотности обслуживания каждого канала обозначим через $\rho=\lambda/\mu$ – приведенную интенсивность входящего потока.

$$\sum_{i=0}^{m+E} p_i = 1. \qquad (1)$$

$$p_k = \begin{cases} \dfrac{\rho^k}{k! n^k} p_0, & 0 \le k \le I-1, \\ \dfrac{\rho^k}{(I-1)! n^{I-1} m^{k-I+1}} p_0, & I-1 \le k \le m+E. \end{cases} \qquad (2)$$

Используя условие нормировки (1), выразили вероятность полного простоя системы (3):

$$p_0 = \left[1 + \frac{\rho}{1! n} + \frac{\rho^2}{2! n^2} + \ldots + \frac{\rho^{I-1}}{(I-1)! n^{I-1}} + \frac{\rho^I}{(I-1)! n^{I-1} m} + \right.$$
$$\left. + \frac{\rho^{I+1}}{(I-1)! n^{I-1} m^2} + \ldots + \frac{\rho^{m+E}}{(I-1)! n^{I-1} m^{m+E-I+1}} \right]^{-1}. \qquad (3)$$

Используя формулу неполной экспоненциальной функции (4), получили промежуточное значение вероятности полного простоя системы (5):

$$e_n(q) = 1 + \frac{q}{1!} + \frac{q^2}{2!} + \ldots + \frac{q^n}{n!}, \qquad (4)$$

$$p_0 = \left[e_{I-1}(\rho/n) + \frac{\rho^I}{(I-1)! n^{I-1} m} \left\{ 1 + \right. \right.$$
$$\left. \left. + (\rho/m) + (\rho/m)^2 + \ldots + (\rho/m)^{m+E-I} \right\} \right]^{-1}. \qquad (5)$$

Выражение в фигурных скобках представляет собой сумму конечной геометрической прогрессии для $q = \rho/m$. Отсюда следует, что

$$p_0 = \left[e_{I-1}\left(\frac{\rho}{n}\right) + \frac{\rho^I}{(I-1)! n^{I-1} m} \times \left\{ 1 - \left(\frac{\rho}{m}\right)^{m+E-I+1} \right\} \right]^{-1}. \qquad (6)$$

При значениях $n=1$ формулы для вычисления вероятности нахождения в системе k заявок (2) и вероятности полного простоя системы (6) обращаются в формулы, соответствующие модели M/M/m/E. А при условии $n=1$, $E=0$ те же формулы будут соответствовать модели СМО типа M/M/m/0. Если длина очереди стремится к бесконечности $(E \to \infty)$ и приведенная интенсивность входящего потока заявок не превышает количество обслуживающих устройств $(\rho < m)$, тогда $(\rho/m)^E \to 0$ и формулы для нахождения p_0 и p_k обращаются в аналогичные соотношения модели M/M/m [4–8].

Особые случаи

Однако если $\rho \ge m$, то при $E \to \infty$ вероятность полного простоя системы стремится к 0.

Данная модель, очевидно, работает при всех значениях ρ. Случай $\rho=m$, однако, должен быть разобран особо, поскольку в этом случае в знаменателе формулы (6) содержится неопределённость типа 0/0, раскрыв которую по правилу Г. Лопиталя, получили

$$p_0\big|_{\rho=m} = \left[e_{I-1}\left(m/n\right) + \frac{m^{I-1}}{(I-1)! n^{I-1}} \times \left(m + E - I + 1\right) \right]^{-1}. \qquad (7)$$

Для полноты картины также было рассмотрено поведение p_0 при значениях приведённой интенсивности потока заявок ρ, близких к значению m числа обслуживающих устройств (числа каналов) в системе. Для этого вернулись к сумме в исходной формуле (3) для p_0:

$$S = 1 + \left(\frac{\rho}{m}\right) + \left(\frac{\rho}{m}\right)^2 + \ldots + \left(\frac{\rho}{m}\right)^{m+E-I}, \qquad (8)$$

$$S = 1 + \left(1 + \frac{\rho}{m} - 1\right) + \left(1 + \frac{\rho}{m} - 1\right)^2 + \ldots + \left(1 + \frac{\rho}{m} - 1\right)^{m+E-I} =$$
$$= \sum_{i=0}^{m+E-I} \left[1 - \left(1 - \rho/m\right) \right]^i. \qquad (9)$$

Применив формулу бинома Ньютона, получили (10):

$$S=\sum_{i=0}^{m+E-I}\left[1-\left(1-\frac{\rho}{m}\right)\right]^i=\sum_{i=0}^{m+E-I}\sum_{j=0}^{i}\frac{(-1)^j\,i!}{j!(i-j)!}\left(1-\frac{\rho}{m}\right)^j=$$

$$=1+\left[1-\left(1-\frac{\rho}{m}\right)\right]+\left[1-2\left(1-\frac{\rho}{m}\right)+\left(1-\frac{\rho}{m}\right)^2\right]+\ldots+$$

$$+\left[1-(m+E-I)\left(1-\frac{\rho}{m}\right)+\frac{(m+E-I-1)(m+E-I)}{2}\times\right.$$

$$\left.\times\left(1-\frac{\rho}{m}\right)^2+\ldots+(-1)^{m+E-I}\left(1-\frac{\rho}{m}\right)^{m+E-I}\right]. \quad (10)$$

Оставив лишь слагаемые не выше второй степени малости относительно $(1-\rho/m)$, привели S к следующему виду (11):

$$S=(m+E-I+1)+\frac{(m+E-I)(m+E-I+1)}{2}+$$

$$+\frac{(m+E-I)\left[(m+E-I)^2-1\right]}{6}\left(1-\frac{\rho}{m}\right)^2. \quad (11)$$

В результате получили приближённое выражение (12) для вероятности полного простоя СМО при значениях ρ/m, близких к единице:

$$p_0=\left\{e_{I-1}\left(\frac{\rho}{n}\right)+\frac{\rho^i}{(I-1)!n^{I-1}}(m+E-I)\times\right.$$

$$\times\left[(m+E-I)^{-1}+1-\frac{m+E-I+1}{2}\left(1-\frac{\rho}{m}\right)+\right.$$

$$\left.\left.+\frac{(m+E-I)^2-1}{6}\left(1-\frac{\rho}{m}\right)^2\right]\right\}^{-1}. \quad (12)$$

При значениях $n=1$ формула (12) обращается в аналогичную формулу, соответствующую модели СМО M/M/m/E согласно классификации М. Кендалла [5].

Заключение

На основании полученных формул вероятности нахождения в системе k заявок и вероятности полного простоя открытой СМО с частичной взаимопомощью между каналами планируется дальнейшее исследование числовых характеристик статического режима функционирования указанной системы.

Литература

1. Вентцель Е.С. Исследование операций. – М.: Сов. радио, 1972. – 552 с.

2. Радченко Т.А. Методы анализа систем массового обслуживания / Т.А. Радченко, А.В. Дылевский. – Воронеж: Изд-во Воронеж. гос. ун-та, 2007. – 63 с.

3. Южаков А.А. Прикладная теория систем массового обслуживания. – Пермь: Изд-во Перм. гос. техн. ун-та, 2004. – 121 с.

4. Алиев Т.И. Основы моделирования дискретных систем. – СПб.: Изд-во СПбГУ ИТМО, 2009. – 363 с.

5. Кирпичников А.П. Методы прикладной теории массового обслуживания. – М.: ЛЕНАНД, 2018. – 244 с.

6. Кирпичников А.П. Вторые моменты числовых характеристик многоканальных систем массового обслуживания с очередью конечной длины / А.П. Кирпичников, З. Фадхкал // Вестник технол. ун-та. – 2014. – Т. 17, № 19. – С. 383–388.

7. Кирпичников А.П. Некоторые особенности числовых характеристик многоканальных систем массового обслуживания открытого типа / А.П. Кирпичников, А.С. Титовцев, З. Фадхкал // Вестник технол. ун-та. – 2014. – Т. 18, № 2. – С. 362–367.

8. Кирпичников А.П. Особенности числовых характеристик открытых многоканальных систем массового обслуживания / А.П. Кирпичников, А.С. Титовцев, З. Фадхкал // В мире научных открытий. – 2015. – № 4.1(64). – С. 525–536.

Кирпичников Александр Петрович
Д-р физ.-мат. наук, зав. каф. ИСУИР КНИТУ
Эл. почта: kirpichnikov@kstu.ru

Томилова Мария Николаевна
Ассистент каф. АССОИ КНИТУ
Эл. почта: tom_mn@mail.ru

УДК 537.633.2

А.В. Козлов

Исследование структуры интегрального датчика Холла с помощью приборно-технологического моделирования в TCAD

Описан практический опыт проведения приборно-технологического моделирования структур интегрального датчика Холла с помощью системы Synopsys Sentaurus TCAD. Приводятся результаты расчета ВАХ и напряжения Холла. Установлено влияние отдельных конструктивно-технологических параметров датчиков на напряжение Холла.

Ключевые слова: Sentaurus TCAD, датчик Холла, напряжение Холла.

Измерение параметров магнитного поля является важной научно-практической задачей. На основе наведения магнитного поля и фиксации вектора и величины магнитной индукции работают различные датчики физических величин, такие, например, как датчики положения, приближения, поворота,

угла, наклона, контроля числа оборотов вращающихся элементов и др. В зависимости от сложности радиоэлектронного устройства выбирают различные магниточувствительные элементы: в интегральном или дискретном исполнении, с большими или малыми размерами, с широким или узким диапазоном величин магнитного поля, с высокой или низкой разрешающей способностью, дорогие или дешёвые.

В последнее время, учитывая потребности разных отраслей в качественных, высокоскоростных, но недорогих устройствах, выбор разработчиков электронной аппаратуры падает на точные, интегральные, малогабаритные, простые, дешевые магниточувствительные элементы – планарные датчики Холла [1–3]. На сегодняшний день известно множество конструкций планарных датчиков Холла [4,5], отличающихся материалами полупроводника, уровнем его легирования, расположением, контактов, размерами, разрешающей способностью и другими параметрами. В основе датчика Холла, как известно, имеется магниточувствительный элемент, который и выбран объектом нашего исследования.

Исследование свойств магниточувствительного элемента Холла можно проводить экспериментально в лабораторных условиях или с помощью математического моделирования (вычислительный эксперимент). Эксперимент в лаборатории требует наличия изолированного помещения, свободного от наведенных электромагнитных помех, формирования магнитного поля с использованием постоянного магнита или электромагнита, пайки проводов к выводам датчика Холла, источника напряжения и прочих элементов. Вычислительный эксперимент позволяет получить ожидаемый результат путем применения средств приборно-технологического моделирования быстрее и с меньшими затратами [6, 7].

Расчеты в Synopsys Sentaurus TCAD

При подготовке к численному моделированию работы магниточувствительного элемента Холла выбран программный комплекс Synopsys Sentaurus TCAD [8]. TCAD – комплексная САПР в области микроэлектроники, позволяющая создать физическую модель полупроводникового прибора, рассчитать его ВАХ в электрической схеме и вычислить электрофизические параметры областей прибора, выполнить экстракцию параметров и другое. Создание геометрии приборов и данных о его слоях, легированных областях, наличии или отсутствии p-n переходов осуществляется как аналитическим способом в графическом редакторе, так с помощью моделирования технологического маршрута. На этапе расчета электрофизических параметров используется набор входных воздействий, учитывающий электрические потенциалы на контактах, протекающие токи через электроды, наличие (отсутствие) магнитного поля (указываются вектор направления и величина магнитной индукции магнитного поля). В рамках диффузионно-дрейфового приближения вычисляется система уравнений непрерывности для электронов и дырок, а также уравнение Пуассона. По завершении расчета в графическом редакторе можно не только построить ВАХ приборов, но также на основе математических формул вычислить значения новых функций, аргументом(ами) являются рассчитанные параметры.

Структура и принцип работы интегрального планарного элемента Холла

Принцип работы интегрального магниточувствительного элемента Холла с двумя *p*–*n*-переходами (ИМЭХ) схож с принципом работы классического интегрального датчика Холла. Отличие заключается в том, что ИМЭХ, сформированный в диффузионной области N-типа, располагается между подложкой *p*-типа и P^+-диффузионной областью. Наличие двух *p*–*n*-переходов p^+–*n* и *p*–substrate–*n*-тип позволяет модулировать активную толщину *N*-слоя с помощью обратного смещения этих *p*–*n*-переходов (на рис. 1 толщина *n*-слоя – расстояние между пунктирными линиями). Таким образом, ток, протекающий в *N*-слое между истоком и стоком (подобно МДП-транзистору) в магнитном поле, и обеспечивающий разность потенциалов между контактами H1 и H2 зависит не только от конструкции датчика, технологии его изготовления и потенциала стока V_{ds}, но также от напряжения P^+–исток V_p^+–*s* и *p*–substrate–исток V_p–sub–*s*. На рис. 1 представлена геометрическая модель элемента Холла, используемого в приборно-технологическом моделировании в TCAD.

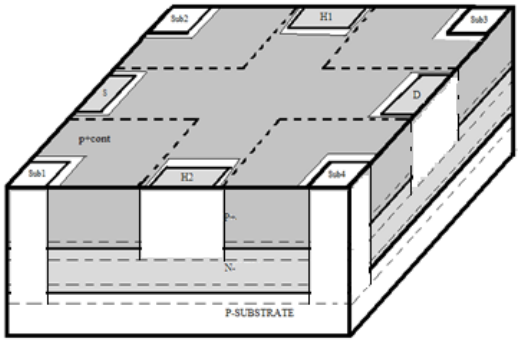


Рис. 1. Структура интегрального элемента Холла с двумя *p*–*n*-переходами с формой креста

Математическое моделирование ВАХ зависимостей тока стока, потенциалов контактов H1 и H2 проводилось в среде Synopsys TCAD. На основе рассчитанных потенциалов электродов H1 и H2 вычислялось напряжение Холла V_H по формуле (1):

$$V_H = V_{H1} - V_{H2}. \quad (1)$$

Объемная структура элемента Холла задавалась аналитически в редакторе Ligament Flow Sentaurus TCAD. Концентрация акцепторной примеси (бор) в подложке выбиралась $N_A = 1{,}8 \cdot 10^{16}$ см$^{-3}$, толщина подложки – 20 мкм. Слой *N*-типа толщиной 2,4 мкм имел спадающую концентрацию от $7{,}42 \cdot 10^{17}$ см$^{-3}$ на границе с p^+-слоем до $1{,}2 \cdot 10^{16}$ см$^{-3}$ в подложке. Слой P^+-типа толщиной 0,2 мкм имел спадающую концентрацию от $3 \cdot 10^{21}$ см$^{-3}$ на поверхности до $7 \cdot 10^{17}$ см$^{-3}$ на границе со слоем *N*-типа. На поверхности были сформированы контактные окна к областям в соответствии с рис. 1. Взаимное располо-

жение областей и контактов прибора задавалось в топологическом редакторе Ligament Layout Synopsys TCAD.

Расчет электрических ВАХ и электрофизических параметров областей прибора

Расчет осуществлялся в программе SDEVICE Sentaurus TCAD. Применялась диффузионно-дрейфовая модель, учитывающая вычисление токов и потенциалов прибора на основе системы уравнений непрерывности для электронов и дырок и уравнения Пуассона в узлах сетки конечных элементов. Построение ВАХ и вычисление напряжения Холла в соответствии с (1) осуществлялось в программе INSPECT Sentaurus TCAD, двумерные и трехмерные распределения электрофизических параметров строились в программе Tecplot SV Sentaurus TCAD. Топология магниточувствительного элемента представлена на рис. 2.

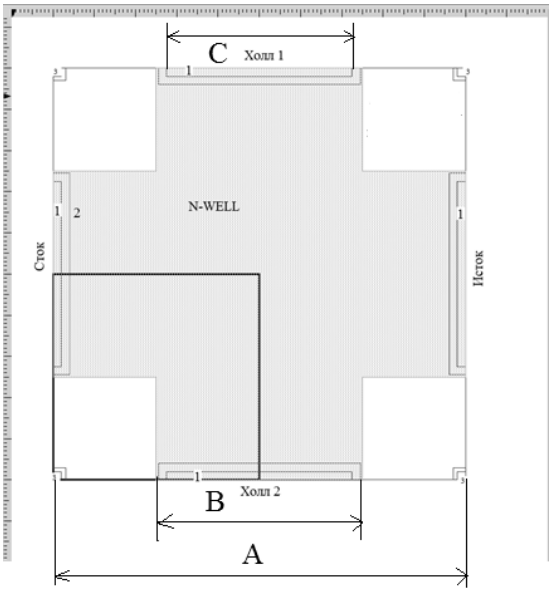


Рис. 2. Топология элемента Холла с формой «креста»

Два противолежащих контакта симметричной структуры использовались как токовые, на других измерялись потенциалы Холла. На рис. 3 приведена зависимость потенциалов холловских электродов от величины тока стока при отсутствии магнитного поля.

С целью поиска оптимальной по напряжению Холла конструкции ИМЭХ проводилось исследование влияния параметров «B» и «C» на V_{H}. В расчетах параметр «B» имел следующие значения: 10, 20, 35, 50, 65 и 80 мкм соответственно. При этом параметр «C» (длина омического контакта к «лепесткам» *N*-слоя) в каждом случае на 5 мкм был меньше, т.е. действовало правило «C» = «B» –5. Ширина омического контакта *N* составляла 2 мкм, контакт располагался симметрично относительно «лепестка» слоя. На рис. 4 представлена зависимость напряжения Холла датчика от размера параметра «C» при размере параметра «B» = 80 мкм и «A» = 100 мкм в магнитном поле 30 мТл при $V_{\text{ds}} = 2$ В и $V_p^+ – s = –2$ В.

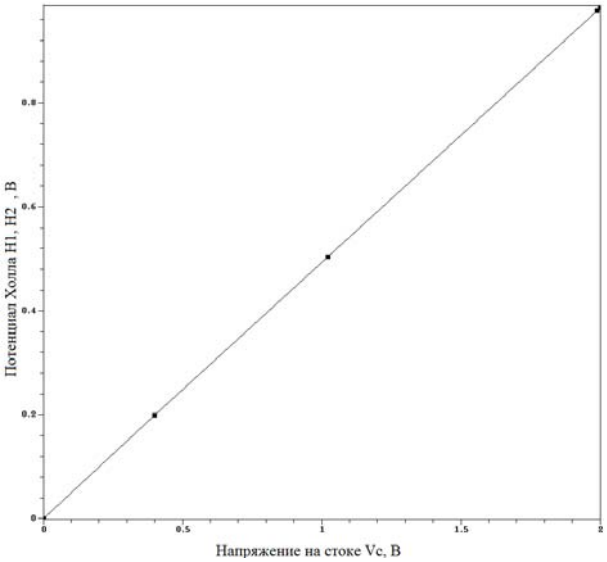


Рис. 3. Зависимость потенциалов электродов H1 и H2 от величины тока стока

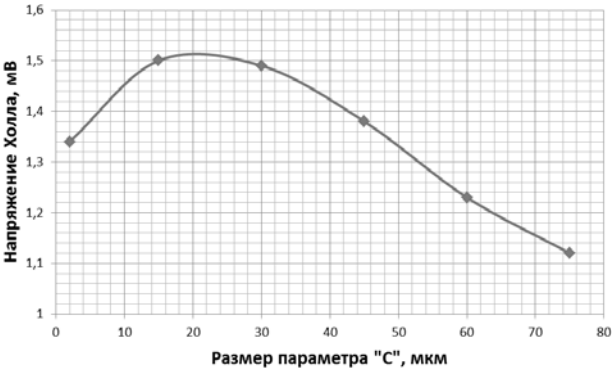


Рис. 4. Зависимость напряжения Холла датчика от размера параметра «C» при размере параметра «B» = 80 мкм в магнитном поле 30 мТл

Также проводилось исследование концентрации донорной примеси в активном слое n-типа на величину напряжения Холла в магнитном поле 30 мТл. Размеры параметров крестовидного элемента Холла использовались следующие: A = 100 мкм, B = 65 мкм, C = 30 мкм. Концентрация примеси изменялась от $5 \cdot 10^{16}$ до 10^{18} см$^{-3}$. Расчеты показали, что с увеличением концентрации легирующей примеси в активном слое напряжение Холла снижается. Максимальное значение $V_{\text{H}} = 1{,}511$ В соответствует концентрации $N_D = 7{,}42 \cdot 10^{17}$ см$^{-3}$. Дальнейшее уменьшение невозможно, т.к. концентрация акцепторной примеси в нижележащей подложке составляет $1{,}2 \cdot 10^{16}$ см$^{-3}$.

Исследование интегрального элемента Холла с формой «восьмиугольника»

С целью исследования конструктивно-технологических параметров, влияющих на напряжение Холла, была изменена топология магниточувствительного элемента на «восьмиугольник» (рис. 5). Тип и последовательность слоев, а также аналитический профиль распределения концентрации в рабочих слоях соответствуют прежней структуре.

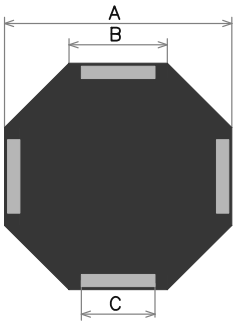


Рис. 5. Топология «восьмиугольник» *N*-слоя

Базовой топологией выбрана структура «восьмиугольника» с размерами A = 100 мкм, B = 50 мкм, C = 45 мкм. Проведено исследование влияния конструктивного параметра «*B*» на напряжение Холла элемента, работающего в магнитном поле 30 мТл при $V^{ds} = 2$ В и $V_p^+ – s = –2$ В, результаты представлены на рис. 6.

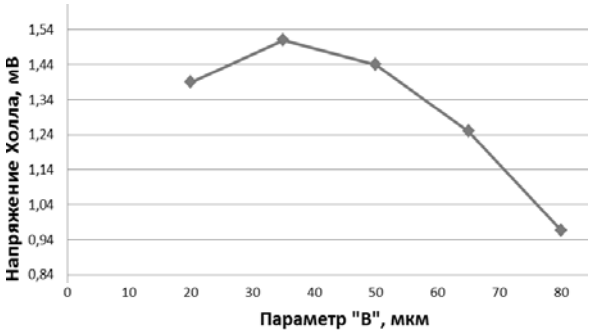


Рис. 6. Зависимость напряжения Холла датчика от размера параметра «*B*» в магнитном поле 30 мТл

Как видно из графика рис. 6, напряжение Холла незначительно подросло по рис. 4. По-прежнему в широком диапазоне параметра «B» имеется точка максимума напряжения Холла, связанного со значениями параметров «A» и «C».

Заключение

Таким образом, проводилось исследование магниточувствительных элементов Холла с топологиями «крест» и «восьмиугольник». Установлено, что:

– элемент Холла с формой «восьмиугольника» имеет более высокое значение напряжения Холла, т.к. такая геометрия ближе к форме «круга»;

– и с топологией «крест», и с топологией «квадрат» зависимость напряжения Холла имеет максимальное значение в диапазоне параметров «B» и «C»;

– максимальное напряжение Холла можно получить при низком уровне легирования полупроводникового активного слоя.

Литература

1. Интегральные датчики Холла компании Honeywell. Датчики. Обзоры. – С. 9–13. – www.beriled.biz

2. John L. Simonds Magnetoelectronics Today and Tomorrow // PHYSICS TODAY. – 1995. – No. 04. – P. 25–32.

3. Шерстобитова А.С. Датчики физических величин. – СПб.: Ун-т ИТМО, 2017. – 57 с.

4. Rahm M., Raabe J., Pulwey R., Biberger J. et al. Planar Hall sensors for micro-Hall magnetometry // Journal of Applied Physics. – 2002. – Vol. 91, No. 10. – P. 7980–7982.

5. Бараночников М.Л. Микромагнитоэлектроника. – Т. 1 / под общ. ред. В.Н. Мордковича. – М.: ДМК-Пресс, 2011.

6. Королев М.А., Крупкина Т.Ю., Чаплыгин Ю.А. Приборно-технологическое моделирование при разработке изделий микроэлектроники и микросистемной техники // Изв. высш. учеб. завед. Электроника. – 2005. – № 4-5. – С. 64–71.

7. Козлов А.В., Королёв М.А., Петрунина С.С. Математическое моделирование влияния концентрации примеси на величину тока стока КНИ полевого датчика Холла // Изв. вузов. Электроника. – 2015. – Т. 20, № 4. – С. 377–381.

8. Synopsys Sentaurus TCAD manual. – 2015.

Козлов Антон Викторович
Канд. техн. наук, доцент
каф. интегральной электроники и микросистем
Национального исследовательского ун-та «МИЭТ»
Эл. почта: iii@zgtu.krs.ru

УДК 519.25: 004.8

А.В. Куртукова, А.С. Романов

Математические модели нейронных сетей для установления авторства программного кода

Описан ряд экспериментов, направленных на выявление особенностей, преимуществ и недостатков различных моделей нейронных сетей в рамках решения задачи установления авторства программного кода. Было выявлено, что простые модели нейронных сетей не способны распознавать авторские признаки при наличии в наборе данных различных языков программирования. Наиболее эффективной моделью оказалась глубокая гибридная нейронная сеть, сочетающая в себе двунаправленную рекуррентную и многослойную сверточную архитектуры. Предложенная модель продемонстрировала положительный результат на смешанных наборах данных – точность составила 91%.

Ключевые слова: деанонимизация, нейронная сеть, глубокое обучение, исходный код, языки программирования.

Необходимость в решении проблемы установления авторства программного кода [1] обусловлена рядом различных факторов, однако наиболее значимым из них является стремление общества к автоматизации всевозможных процессов: от выполнения простых бытовых задач до функционирования крупных, охватывающих значительные территории механизмов. Кроме того, повсеместное внедрение автоматизированных систем открывает множество возможностей для злоумышленников. Авторы-вирусописатели могут незаметно распространять вредоносный код по сети Интернет, а также внедрять его даже в хорошо защищенные системы, сохраняя при этом анонимность с помощью специализированного программного обеспечения. Еще один немаловажный фактор – негативная тенденция к плагиату исходных кодов коммерческих продуктов. Финансовые потери компании, не способной доказать авторское право на определенный программный код в рамках судебного разбирательства, могут быть колоссальными.

Таким образом, методики и подходы к установлению авторства исходного кода представляют интерес как для специалистов в области форензики и судебных экспертов, так и для исследователей, занимающихся анализом и обработкой искусственно-языковых текстов. Это подтверждается большим количеством научных работ, демонстрирующих положительные результаты и объясняющих особенности применения разных методов с целью идентификации автора-программиста по стилю написания программного кода.

Группа американских ученых в течение нескольких лет изучает деанонимизацию автора исходного кода. Работа [2] посвящена подходу к классификации авторов-программистов на основе ансамбля случайного леса и нечетких абстрактных синтаксических деревьев (АСД). Полученная точность составила 90% для языка программирования Python. Калибровочные кривые позволили применять данный подход к неполным и некомпилируемым образцам кода. Усовершенствованная методика, представленная в статье [3], продемонстрировала точность 73% при идентификации на одном образце исходного кода, написанного на C++.

В следующем труде [4] исследователи модифицировали существующую методику, заменив в ансамбле случайный лес на глубокую нейронную сеть (НС). В рамках эксперимента применялись популярные рекуррентные архитектуры глубокой долгой краткосрочной памяти (LSTM) и двунаправленной LSTM (BiLSTM). Произведенные изменения позволили повысить точность классификации до 92–96% для 25 Python-программистов, 80–85% для 10 авторов, программирующих на языке C++.

В последней работе авторов [5] представлена методика, учитывающая важный аспект – отсутствие автора-программиста анонимного образца в обучающей выборке. Для выявления таких случаев исследователи применяют доверительный порог, позволяющий различать неизвестных классификаторам авторов. Однако такой подход негативно отразился на точности идентификации, составившей 61% для 104 программистов, 78 из которых отсутствовали в обучающей выборке.

В исследовании [6] рассматривается возможность фальсификации злоумышленником авторского стиля программиста с целью сокрытия собственной личности. Эксперимент состоял в подделке программистами-любителями исходных кодов и дальнейшей классификации измененных ими исходных кодов, а также их независимой проверке экспертами аналитиками на предмет намеренного искажения. Несмотря на то, что средняя точность классификации составила 70%, аналитики не смогли обнаружить лишь 23,7% подделок. Таким образом, авторы сделали вывод о том, что на основе стратегий, применяемых экспертами для обнаружения фальсификации, возможно усовершенствование имеющихся методик идентификации автора исходного кода и повышение их устойчивости к намеренным искажениям данных.

В работе [7] предложен подход к определению автора исходного кода на основе комбинации распространенных методов анализа статических (пробельные символы, ключевые слова, комментарии и т.п.) и динамических (вызовы функций, операции с памятью и т.п.) признаков. Такой подход дает возможность исследователям дообучать классификатор при расширении обучающего набора данных, а также демонстрирует положительные результаты даже на небольших корпусах. Точность, полученная для 23 Python-программистов, составила 94%.

Представленные результаты позволяют сделать вывод об эффективности применения НС для решения обозначенной задачи. Исходя из этого, была поставлена цель – реализовать модель НС, способную точно идентифицировать программиста по исходным кодам, написанным им на разных языках.

Математические модели нейронных сетей

В рамках данного исследования было решено рассматривать исключительно глубокие архитектуры НС [8–10], так как более простые модели, а также традиционные алгоритмы машинного обучения являются чувствительными к намеренным искажениям текста, что приводит к значительным потерям в точности классификации.

Наиболее распространенные среди исследователей модели основываются на рекуррентных и сверточных архитектурах. Популярность возникла из-за особенностей обработки ими текстовых последовательностей. В частности, рекуррентные НС (RNN) позволяют фиксировать контекстные зависимости, а сверточные НС (CNN) – производить анализ текста параллельно на уровне символов и слов. Так, было решено реализовать следующие пять моделей:

1. Глубокая LSTM (D-LSTM) [11].
2. CNN с самовниманием (CNN-A) [12].
3. Простая сверточно-рекуррентная модель (CRNN) [13].

4. Сепарабельная CRNN (SeparableCRNN).
5. Авторская гибридная модель (HNN).

Далее представлено описание ключевых отличий компонентов данных моделей и их особенностей.

Классическая LSTM реализуется за счет функций входа, забывания, обновления и выхода и в общем случае может быть описана как:

$$f_t = \sigma(\mathbf{W}_f \cdot [h_{t-1}, \mathbf{x}_t] + b_f), \quad (1)$$

$$i_t = \sigma(\mathbf{W}_i [h_{t-1}, \mathbf{x}_t] + b_i), \quad (2)$$

$$\tilde{C}_t = \tanh(\mathbf{W}_c \cdot [h_{t-1}, \mathbf{x}_t] + b_c), \quad (3)$$

$$o_t = \sigma(\mathbf{W}_o [h_{t-1}, \mathbf{x}_t] + b_o), \quad (4)$$

$$C_t = f_t \cdot C_{t-1} + i_t \cdot \tilde{C}_t, \quad (5)$$

$$h_t = o_t \cdot \tanh(C_t), \quad (6)$$

где $\mathbf{W}_c$, $\mathbf{W}_i$, $\mathbf{W}_f$, $\mathbf{W}_o$ – весовые матрицы обновления, входа, забывания и выхода, b_c, b_i, b_f, b_o – внутренние параметры обновления, входа, забывания и выхода, $\mathbf{h}_t$ – вектор скрытого состояния в момент t, $\mathbf{x}_t$ – входной вектор в момент t, а σ – сигмоидальная функция.

Узел забывания получает на вход полученные с предыдущего шага значения и формирует выходное значение, находящееся в интервале [0, 1]. Близкие к 0 значения исключаются из процесса обучения, а близкие к 1, напротив, остаются в нем. Затем узел обновления реализует функцию забывания неважной для решения задачи информации.

На выходном узле к полученной информации применяется функция активации, которая осуществляет предсказание того, какая ее часть должна стать выходными данными узла в момент времени t.

Выходную карту признаков скрытого слоя простой модели CNN можно описать как

$$h_j^l = f(\sum_i x_i^{l-1} * k_j^l + b_j^l), \quad (7)$$

где f – функция активации, b_j – коэффициент сдвига для карты признаков, k_j – ядро свертки номер j, x_i^{l-1} – карта признаков предыдущего слоя, * – операция свертки.

Однако созданные для задач компьютерного зрения сверточные модели могут не дать положительный результат для анализа текста без применения вспомогательных механизмов. Для этого было решено опробовать CNN с самовниманием, использующую матрицу внимания для влияния на свертку. Матрица внимания генерируется путем сопоставления символьных представлений карт будущего и прошлого контекста, таким образом выделяя наиболее значимые символьные последовательности в тексте. За счет этого механизм самовнимания позволяет осуществлять более эффективное взвешивание символьных последовательностей (n-грамм), а следовательно, более точно классифицировать текст.

Еще одна сверточная модификация – отделимые CNN (SeparableCNN), позволяющая осуществлять параллельный анализ n-грамм символов, где n является равной размеру фильтра свертки. Особенность SeparableCNN заключается в их способности раскладывать ядро свертки на меньшие по размеру ядра и осуществлять тем самым более глубокий анализ, что зачастую может положительно влиять на разделяющую способность классификатора.

Простая RNN в момент времени t описывается следующим образом:

$$s_t = f(a_t) = f(b + \mathbf{W}_{s_{t-1}} + \mathbf{U}_{x_t}), \quad (8)$$

$$y_t = h(o_t) = h(c + V_{s_t}), \quad (9)$$

где $f()$ – сигмоидальная функция, h – функция активации выходного слоя Softmax, b, c – внутренние параметры, $\mathbf{W}$ – матрица весов для перехода между скрытыми состояниями, $\mathbf{U}$, $\mathbf{V}$ – матрица входа, выхода.

Недостатком представленной ранее LSTM является ее требовательность к ресурсам. Для больших объемов данных целесообразным считается применение GRU-архитектур, являющихся по сути упрощенными аналогами LSTM.

В GRU узел обновления u_t выступает в качестве входного и забывающего узлов, а узел перезагрузки r_t используется для переноса памяти между шагами:

$$u_t = \sigma(\mathbf{W}_u \cdot [h_{t-1}, \mathbf{x}_t] + b_u), \quad (10)$$

$$r_t = \sigma(\mathbf{W}_r \mathbf{x}_t + \mathbf{W}_{hr} h_{t-1} + b_r), \quad (11)$$

$$\tilde{h}_t = \tanh(\mathbf{W}_{x\tilde{h}} \cdot \mathbf{x}_t + \mathbf{W}_{h\tilde{h}} [r_t \circ h_{t-1}]), \quad (12)$$

$$h_t = (1 - u_t) \cdot \tilde{h}_t + u_t \cdot h_{t-1}, \quad (13)$$

где $\mathbf{W}_u$, $\mathbf{W}_r$ – весовые матрицы обновления и перезагрузки, b_u, b_r – внутренние параметры обновления и перезагрузки. Работа осуществляется за счет узла обновления, осуществляющего выбор информации для следующего шага с помощью выходной сигмоидальной функции.

Однако выявляемой узлами GRU информации может быть недостаточно для эффективной классификации, поэтому было решено рассмотреть их двунаправленную модификацию – BiGRU, использующую аналогично механизму самовнимания будущие и прошлые контексты. Для реализации такой архитектуры необходимо продублировать все узлы для шагов, направленных в будущее время. Так, узел перезагрузки для считывания будущего контекста можно представить следующим образом:

$$r_t = \sigma(\mathbf{W}_r \mathbf{x}_t + \mathbf{W}_{hr} h_{t+1} + b_r). \quad (14)$$

На рис. 1 представлена графическая модель, продемонстрировавшая в ходе экспериментов наилучший результат. Модель состоит из многослойной CNN архитектуры, представленной Inception-V1, BiGRU, и полносвязных слоев.

Эксперименты и анализ результатов

Описанные модели были реализованы на основе популярных библиотек для глубокого анализа данных, в частности, TensorFlow, Keras и PyTorch.

Основной проблемой методов, презентуемых в трудах зарубежных авторов, является отсутствие экспериментов, направленных на выявление эффективности их подходов в условиях ограниченности ресурсов, отсутствия данных в подходящем для обучения виде и иных сложных ситуаций.

В рамках данного исследования было решено опробовать реализованные модели на комбиниро-

ванных корпусах, включающих в себя исходные коды авторов, программирующих на двух и более языках.

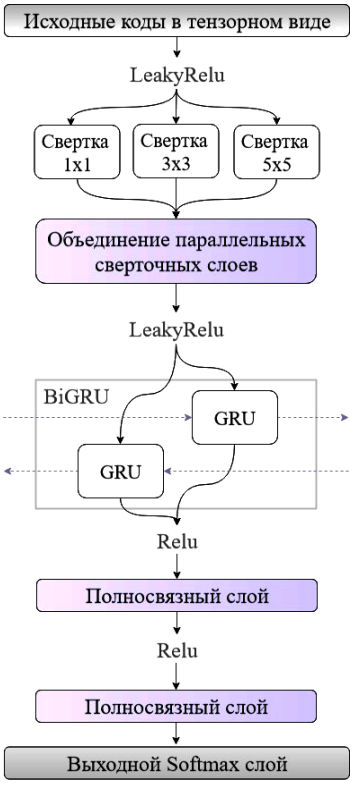


Рис. 1. Модель глубокой HNN

В качестве авторов-программистов, участвующих в эксперименте, были задействованы пользователи веб-ресурса GitHub [14]. С помощью парсера, написанного на языке Python и ориентированного на загрузку комбинированных репозиториев, был собран корпус данных, содержащий свыше 200 тыс. образцов исходных кодов.

Эксперименты осуществлялись как для авторов, программирующих на одинаковых языках программирования, так и на полностью смешанных выборках, включающих в себя 13 наиболее популярных языков [15], а именно Java, C++, C#, JavaScript (JS), Ruby, Python, Swift, Perl, Groovy, Go, PHP, Kotlin, C.

В табл. 1 приведены результаты 10-фолдовой кроссвалидации для различных по объему смешанных корпусов. В табл. 2 представлены результаты кроссвалидации для корпусов из 10 авторов, программирующих на одинаковых языковых парах.

Таблица 1

Результаты экспериментов для комбинаций языков

Модель	D-LSTM, %	CNN-A, %	CRNN, %	Separable CRNN, %	HNN, %
Python-C++	73,7	80	66	63,3	84
JS-C#	68	71,7	59,4	61	75
Ruby-Java	70	79,9	67	69,6	87
Swift-Java	74,5	92	72	70	91,5
JS-Python	68	76,5	60,5	62	83
JS-Swift	69	81	67,1	66,5	89,3
Java-Python	72	81,5	70	64	88
Ruby-C#	59,8%	73%	61%	45%	76,5%

Таблица 2

Результаты экспериментов для смешанных корпусов

Модель	D-LSTM, %	CNN-A, %	CRNN, %	Separable CRNN, %	HNN, %
5 авторов	77,7	83	76	72,8	91
10 авторов	65	71,2	63	63,5	78
20 авторов	48,9	66	51,6	50,5	67,5

Наименее эффективной оказалась архитектура SeparableCRNN, особенности функционирования которой в данном случае оказали негативное влияние на процесс классификации. Также неудовлетворительный результат был продемонстрирован CRNN. Низкая точность может быть обусловлена использованием в обеих моделях простых RNN, не способных, в отличие от LSTM и GRU, реагировать на долговременные зависимости.

Наилучшие результаты были получены моделями CNN с самовниманием и HNN. Несмотря на то, что математические аппараты данных моделей совершенно различны, они осуществляют идентификацию автора исходного кода по одному и тому же принципу – выявление прошлого и будущего контекстов и определение как близких, так и удаленных зависимостей. За счет этого происходит наиболее эффективная классификация и получение положительных результатов.

Полученные результаты позволяют сделать вывод об эффективности авторской глубокой HNN и о ее значительном преимуществе над другими реализованными архитектурами.

Заключение

В рамках данного исследования был проведен ряд экспериментов, направленных на выявление эффективности моделей НС в условиях ограниченности ресурсов. В работе рассмотрен случай неоднородного по языкам программирования корпуса.

Были протестированы пять моделей НС. Самая высокая точность была получена авторской HNN моделью для корпуса, содержащего исходные коды, написанные на разных языках программирования, и составила 91%. Такой результат является приемлемым для проведения экспертиз и позволяет сделать вывод о целесообразности использования модели HNN в качестве основы алгоритмического обеспечения для программной системы для установления авторства исходного кода.

Литература

1. Куртукова А.В., Романов А.С. Идентификация автора исходного кода методами машинного обучения // Труды СПИИРАН. – 2019. – Вып. 18(3). – С. 741–765.

2. Caliskan-Islam A., Harang R., Liu A. Deanonymizing programmers via code stylometry // Proceedings of the 24th USENIX Security Symposium. – 2015. – P. 255–270.

3. Caliskan-Islam A., Dauber E., Harang R. Git blame who? arXiv preprint. – 2017. – arXiv:1701.05681.

4. Alsulami B., Dauber E., Harang R., Mancoridis S., Greenstadt R. Source Code Authorship Attribution using Long Short-Term Memory Based Networks // Proceedings of the 22nd European Symposium on Research in Computer Secu-

rity. – Oslo, Norway, September 11–15. – 2017. Part I. – P. 65–82.

5. Dauber E., Caliskan-Islam A., Harang R. Git Blame Who? Stylistic Authorship Attribution of Small, Incomplete Source Code Fragments // Proceedings on Privacy Enhancing Technologies. – 2019. – P. 389–408.

6. Simko L., Zettlemoyer L., Kohno T. Recognizing and Imitating Programmer Style: Adversaries in Program Authorship Attribution // Proceedings on Privacy Enhancing Technologies. – 2018. 10.1515/popets-2018-0007.

7. Wang N., Ji S. Integration of Static and Dynamic Code Stylometry Analysis for Programmer De-anonymization // Proceedings of the 11th ACM Workshop on Artificial Intelligence and Security. – 2018. – P. 74–84.

8. Vaswani A., Shazeer N., Parmar N. et al. Attention Is All You Need. – 2019. – ArXiv:1706.03762.

9. Zihang D., Yang Z., Yang Y. et al. TransformerXL: Attentive Language Models beyond a Fixed-Length Context. – 2019. – ArXiv:1901.02860.

10. Quiring E., Maier A. Rieck K. Misleading Authorship Attribution of Source Code using Adversarial Learning. – 2019. – ArXiv:1905.12386.

11. TensorFlow [Электронный ресурс]. – Режим доступа https://www.tensorflow.org/, свободный (дата обращения: 27.08.19).

12. Keras [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://keras.io/, свободный (дата обращения: 15.09.19).

13. PyTorch [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://pytorch.org/, свободный (дата обращения: 15.09.19).

14. Github [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://github.com/, свободный (дата обращения: 17.09.19).

15. Index TIOBE [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.tiobe.com, свободный (дата обращения: 22.09.19).

Куртукова Анна Владимировна
Студентка каф. БИС ТУСУРа
Эл. почта: av.kurtukova@gmail.com

Романов Александр Сергеевич
Канд. техн. наук, доцент каф. БИС ТУСУРа
Эл. почта: alexx.romanov@gmail.com

УДК 004.42

Е.Р. Калюжный, Н.В. Зариковская

Оценка уровня знаний обучающихся с использованием мобильных и веб-систем

Работа посвящена вопросам применения веб-систем и систем, реализованных для мобильных устройств для оценки знания обучающихся в образовательных учреждениях любого уровня. Система реализована с учетом трех ролей (администратор, преподаватель, обучающийся). Функционал системы позволяет формировать тесты по различным дисциплинам или отдельным разделам дисциплин, проводить или проходить контрольное/итоговое тестирование, а также заниматься самопроверкой знаний в удобное для обучающегося время. Система реализована в виде веб-приложения, а также приложения для мобильных устройств с операционными системами Android и iOS.

Ключевые слова: веб-система, приложение, мобильные устройства, тесты, оценка знаний, Android, iOS, Flutter, преподаватель, обучающийся.

В настоящее время задача создания независимой системы оценки качества результатов образовательного процесса рассматривается как наиболее важная составляющая современного образования. К наиболее важным элементам системы качества образования относится мониторинг результатов деятельности обучающихся, который должен проводиться на всех уровнях и ступенях образовательного процесса. Согласно современным требованиям, оцениваться должен уровень результатов обучающихся, определяемый для каждого учебного предмета в соответствии с образовательными программами и ФГОС. Одним из современных методов оценки уровня подготовки является тестирование.

Тестирование как метод контроля дает возможность получить оценку качества подготовки обучающихся общеобразовательных учреждений, стандартизировать методику измерений и интерпретации результатов. Тестирование можно организовывать как на бумажных носителях, так и с использованием современных устройств и технологий, в частности, мобильных гаджетов.

Возможность осуществления тестирования с использованием мобильных устройств позволит существенно облегчить преподавателям процесс проверки результатов, а также даст возможность проведения тестирования на более высоком и современном уровне.

В настоящее время реализована система оценки знаний обучающихся со следующим функционалом для обучающихся:

– авторизация и возможность восстановления пароля от своей учетной записи;

– выбор дисциплины для прохождения тестов;

– получение списка, необходимого для прохождения тестов;

– непосредственное прохождение тестов;

– просмотр отчета по результатам теста с возможностью просмотра разделов, по которым имеются пробелы;

– прохождение тестов для самопроверки знаний.

Функционал для преподавателя:

– формирование перечня разделов, по которым имеются «пробелы»;

– формирование базы вопросов и ответов для различных дисциплин;

– авторизация и возможность восстановления пароля от личного кабинета;

– формирование тестов различных типов по различным дисциплинам;

– формирование экзаменационных ведомостей, зачетных ведомостей при проведении итогового тестирования;

– формирование отчетов о проведенном тестировании с указанием количества баллов.

Со стороны администратора – выдача логинов и паролей обучающимся, назначение учебного плана для каждого обучающего (группы обучающегося).

Функционал со стороны обучающегося реализован в виде мобильного приложения, позволяющего обучающемуся проходить контрольные и итоговые тесты, а также тесты для самопроверки знаний в любое удобное для обучающегося время.

Функционал преподавателя реализован с использованием веб-приложения и мобильного приложения.

В системе была реализована возможность формирования тестов по всем дисциплинам учебного плана обучающихся, как гуманитарным, так и техническим. Для каждой дисциплины первоначально формируется перечень разделов. По каждому разделу дисциплины на сервере формируется база вопросов из количества, достаточного для формирования уникальных тестов – 10–15 шт, при этом для формирования итогового теста (экзамена) перечень вопросов формируется отдельно от промежуточных тестов и вопросов для самопроверки. Преподаватель имеет возможность формирования тестов как по отдельному разделу дисциплины, так и учитывая в тесте несколько разделов дисциплины. После определения содержания теста, то есть разделов дисциплины, учитываемых в конкретном тесте, и количества вопросов, содержащихся в тесте, происходит генерация теста на основания алгоритма случайного выбора вопросов с учетом равномерного использования вопросов каждого раздела дисциплины, заложенного в тесте. После окончания тестирования происходит валидация полученных ответов с заложенными в программе результатами. Тестируемому выдается результат в балловой системе либо переведенной в пятибалльную шкалу (оценку) без указания правильных ответов на заданные вопросы. В данной системе реализованы следующие типы тестов.

Существует 2 типа тестовых заданий: открытые и закрытые. Открытый тип предполагает написание своего ответа. Закрытый тип подразумевает варианты ответов, из которых необходимо выбрать правильные. Закрытый тип делится на 4 вида: множественный выбор, альтернативный выбор, установление соответствия и установление последовательности.

Множественный выбор приведен на рис. 1. Этот вид предполагает выбор одного или нескольких вариантов правильных ответов.



Рис. 1. Множественный выбор

Альтернативный выбор представлен на рис. 2. Он предполагает два варианта ответа на вопрос: «Да» или «Нет».



Рис. 2. Альтернативный выбор

Установление соответствий приведено на рис. 3. Этот вариант предполагает установить соответствие элементов двух списков, причем элементы списков могут быть как в виде текста, так и в виде рисунков.

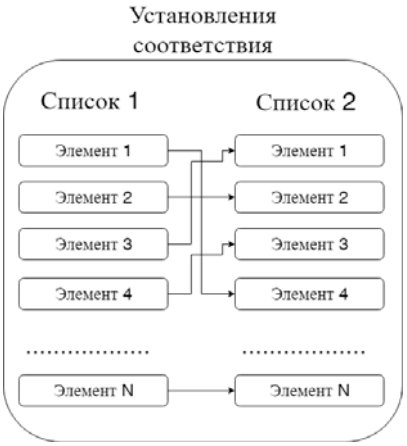


Рис. 3. Установление соответствия

Установление последовательности представлено на рис. 4. Данный вид теста предлагает выставить варианты ответа в правильном порядке, например, составить грамматически правильное предложение из английских слов.



Рис. 4. Установление последовательности

Открытый тип показан на рис. 5. Данный тип предполагает, что испытуемый должен предложить свой ответ, например: слово, предложение, знак, формулу и т.д.

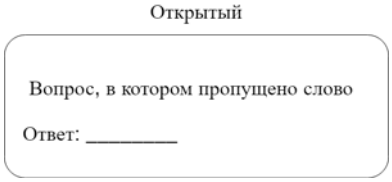


Рис. 5. Открытый тип теста

Система представляет собой клиент-серверную архитектуру с мобильными приложениями для операционных систем Android и iOS, web-интерфейсом и серверной частью.

При разработке приложения для устройств с операционной системой Android и iOS была выбрана кроссплатформенная технология Flutter с языком программирования Dart.

Flutter – SDK с открытым исходным кодом для создания мобильных приложений от компании Google (май 2017 г.). Он используется для разработки приложений под Android и iOS на языке программирования Dart. Он был выбран из-за кроссплатформенной концепции разработки мобильных приложений, плюсами которого являются: быстрая разработка благодаря Stateful Hot Reload, выразительный и гибкий интерфейс и нативная производительность, которая достигается оптимизированными виджетами с учетом критических различий платформ.

Dart – язык программирования, созданный Google 10 октября 2011 г. Dart позиционируется в качестве замены/альтернативы JavaScript.

В качестве основной архитектуры приложения был использован паттерн Business Logic Components (далее – BLoC). Это решение рекомендовано разработчиками из Google, которое основано на потоках. Основным плюсом этого паттерна является отделение бизнес-логики, управление состоянием и загрузки данных от кода, который используется для отрисовки графического интерфейса.

При разработке web-приложения использовалась технология React с языком программирования JavaScript.

React – JavaScript библиотека с открытым исходным кодом, созданная компанией Facebook в марте 2013 г., для разработки пользовательских интерфейсов для одностраничных приложений.

При разработке серверной части использовался фреймворк Django с языком программирования Python. В качестве базы данных была выбрана PostgreSQL.

Литература

1. Калюжный Е.Р., Зариковская Н.В. Наука и образование: сохраняя прошлое, создаем будущее // сб. статей XVII Междунар. науч.-практ. конф. – Пенза: МЦНС «Наука и просвещение», 2018. – С. 30–32.

2. Flutter Documentation. – Режим доступа https://flutter.dev/docs (дата обращения: 10.08.2019).

3. React Native. Getting Started – Режим доступа https://facebook.github.io/react-native/docs/getting-started (дата обращения: 08.08.2019).

4. Getting started with Django. – Режим доступа https://www.djangoproject.com/start/ (дата обращения: 09.08.2019).

Калюжный Евгений Романович
Студент ТУСУРа
Эл. почта: kalyuzhnyer@gmail.com

Зариковская Наталья Вячеславовна
Доцент каф. АОИ ТУСУРа
ORCID: 0000-0003-0423-5635
Эл. почта: nata.chepko@gmail.com

УДК 004.048

А.Е. Пискарев, Н.В. Зариковская

Интеллектуальная система поддержки планирования и управления проектом

Рассмотрена реализация интеллектуальной системы, направленной на решение задач планирования и управления проектной деятельностью. В основе решения лежат нейроморфные алгоритмы и глубокое машинное обучение. Описываются разрабатываемый продукт и его характеристики, а также рассматривается его компонентная схема реализации.

Ключевые слова: интеллектуальная система, планирование, управление, проектная деятельность, нечеткая логика, нейронные сети, нейросетевые технологии, нейросетевое моделирование, имитационная модель, поддержка принятия решений.

В условиях современного рынка для оперативного принятия решений при выполнении проектов на предприятиях всех отраслей и масштабов применяются автоматизированные системы управления проектами. Управление проектами – это междисциплинарная и многокомпонентная деятельность по управлению целями, временем, стоимостью, ресурсами, командой, рисками, интеграцией проекта. Качественно осуществлять подобную деятельность без применения инструментов автоматизации невоз-

можно. Современные проекты и условия их реализации все более усложняются, расширяется круг решаемых в них задач, а существующие программные средства по управлению проектами не охватывают всего круга вопросов, возложенных на них.

За многолетний опыт решения задач планирования и управления проектами накопилась обширная база исторических данных (фактические состояния проектов и результаты, расходы и ресурсы, использованные для каждого вида деятельности и пр.), которая представляет собой так называемую «Big Data» и может быть использована для разработки прогностических моделей с помощью методов машинного обучения, таких как нейронные сети, деревья решений и многое другое.

Первые попытки создания систем с поддержкой искусственного интеллекта для решения задач планирования и управления проектной деятельностью были предприняты еще во второй половине прошлого века и представлялись в основном экспертными системами, разрешающими вопросы «Что, если?». Благодаря развитию вычислительной мощности и снижению затрат на хранение данных в последнее десятилетие с новой силой стал возрастать интерес к решению задач управления проектами за счет возможности применения методов глубокого обучения, основанных на нейронных сетях.

Современное приложение методов машинного обучения нашло себя в различных направлениях управления проектной деятельностью – управление качеством, ресурсами, рисками, временем, плановыми задачами, работами, коммуникациями, бюджетом и базами знаний, – и представляют собой полноценных виртуальных помощников-агентов, моделирующих поведение и деятельность человека. Виртуальные ассистенты обучаются на основе лучших практик человеческого опыта, что позволяет автоматизировать сложные повторяющиеся процессы, обнаруживать ошибки до их возникновения и избавить от рутинной работы, сокращая временные и финансовые издержки на поиск и реализацию решения возникшей проблемы.

Применение искусственного интеллекта к проектной деятельности располагает множеством преимуществ в сравнении с традиционными парадигмами и методами, среди которых возможности анализа различных сценариев развития в реальном режиме времени, корректировка планов в зависимости от воздействий окружающей среды на систему, снижение и прогнозирование рисков существующего проекта, оформление заказов материалов и оборудования, эффективное распределение ресурсов и сроков выполнения работы, оповещения о возникших проблемах и объективная отчетность и многое другое, что позволяет принимать более обоснованные и точные решения на основе прецизионного анализа данных и передовых технологий.

Обоснование предлагаемого решения

Обоснование предлагаемых решений подкрепляется используемыми технологиями в следующем контексте. Применение экспертных систем, основанных на базах знаний, которые могут быть представлены в виде продукционных моделей нечеткого вывода, обеспечивает для эффективной проектной деятельности оценку требований, продолжительность работ и потребности в ресурсах. Используя методы теории нечеткой логики при планировании проекта, становится более обоснованно определять приоритеты работ, задач и проекта в целом, сбалансировать временные затраты, оценить риски для моделирования распределения вероятностей.

Генетические алгоритмы позволяют оптимизировать стоимостные и временные параметры жизненного цикла проекта, минимизировать общие расходы с ограничениями по ресурсам, используя различные комбинации имеющихся данных. Искусственные нейронные сети в свою очередь могут решать практически любую оптимизационную задачу, в том числе прогнозировать эффективность и успешность инициированного проекта, автоматизировать последовательность действий по проекту на основе функциональных требований, определять вид деятельности, состав работ и оценивать риски и объем проекта.

Продукт и его характеристики

Разрабатываемым продуктом является автоматизированная система интеллектуального анализа текста заданий на проект и поддержки принятия решения по управлению жизненным циклом проектов в строительстве на проектно-изыскательские работы с возможностью масштабирования для различных по характеру сфер деятельности человека, которая по функциональному назначению является ассистентом с искусственным интеллектом для специалистов, руководителей и менеджеров, вырабатывающих и принимающих решения в задачах планирования и управления проектами.

Разрабатываемые алгоритмы и технологии позволят осуществить компьютерную поддержку решения широкого круга задач жизненного цикла проекта в различных начальных условиях и принимать более обоснованные решения по управлению проектами. Предлагаемое решение будет обеспечивать:

- анализ, интерпретацию и классификацию проектов;
- определение видов, состава и содержания работ;
- оценку рисков и необходимых ресурсов на выполнение работ проекта;
- создание альтернативных вариантов-сценариев работ проекта и оценку их стоимостных и временных параметров, построение наиболее осуществимой сетевой модели проекта, определение оптимальной продолжительности выполнения задач и этапов работ и проекта в целом;
- управление проектом за счет выдачи задач в подразделения для своевременного выполнения работ в соответствии с комплексным графиком реализации проекта.

В рамках реализации указанных технологий будут разработаны следующие программные модули:

• ввода, накопления и хранения данных;

• распознавания и интерпретации данных;

• принятия решений и визуализации результатов интеллектуального анализа.

В разрабатываемой системе предполагается реализовать интеллектуальный анализ текстовой информации, представленной в виде архива заданий на проекты и данных по самим проектам (как успешно выполненным, так и нет), на основе современных методов нейросетевых технологий, с помощью которых будет обеспечена классификация данных по проектам, выявлены зависимости между различными характеристиками проектов, спрогнозированы временные, стоимостные и другие критерии, которые позволят интерпретировать перечень работ проекта.

Реализация сопровождается созданием имитационной модели проекта, которая может быть адаптирована к различным по характеру сферам деятельности человека, что в дальнейшем позволит расширить круг возможных потребителей продукции. Обобщенная схема процесса обработки разрабатываемой системой заданий на проект и фактических данных представлена на рис. 1.

Входящие документы и данные в них приводятся к унифицированной модели проекта, классифицируются по различным категориям и интерпретируются (происходит определение параметров, содержания работ, оценка рисков и т.д.). В результате на основе нейросетевых технологий и продукционных моделей нечеткого вывода, включающих в себя результаты интеллектуального анализа задания на проект и фактических данных, формируется модель нового проекта, которая будет состоять из нескольких сценариев управления и развития проекта (в зависимости от критериев оптимальности).

Каждый сценарий представляет собой план проекта (как совокупность отдельных планов управления, в том числе выполнения работ) и содержит календарно-сетевой график выполнения работ проекта и обоснованные прогнозные данные о ходе реализации проекта. Таким образом, реализация инициированного проекта будет осуществляться по одному сценарию, представленному на выбор. Под фактическими данными, которые может предоставлять внешняя система управления проектами, подразумевается информация об имеющихся в наличии материальных, финансовых, человеческих ресурсов и возможностях их замещении, баз контрагентов и пр.

Разработка алгоритмов системы будет производиться на основе методов нейросетевого моделирования, которые позволят снизить влияние человеческого фактора при принятии наиболее лучшего решения в задачах проектной деятельности. Создаваемый продукт также позволит оценить качество и эффективность принимаемых решений специалистом по совокупности различных критериев оптимизации ресурсов и осуществить прогноз возможных последствий. Реализация описанных функций автоматизированного комплекса программ обеспечивается путем разработки технологии интеллектуального анализа текста на основе методов машинного обучения и её интегрирования в систему поддержки принятия решений по управлению проектами, использующую методы проектного управления, теории принятия решений и нечетких множеств, системного анализа и нейросетевых технологий [1]. Это позволит осуществлять поддержку решения широкого круга многокритериальных задач, появляющихся при реализации жизненного цикла проекта в условиях неопределенности и нечеткости данных.

Компонентная схема реализации

При реализации продукта за основу была взята компонентная схема реализации, представленная на рис. 2, которая иллюстрирует методологию достижения научно-практической ценности за счет разработки математических моделей и их программной реализации, в том числе:

• унифицированный для различных сфер деятельности человека метод представления, извлечения и обработки информации из заданий на проект на основе методов интеллектуальной обработки текстовых данных и системного анализа нормативных документов, который позволит определять факторы и характеристики, влияющие на жизненный цикл проекта и процессы планирования и управления;

• имитационная модель [2] проекта, полученная на основе унифицированного метода представления, извлечения и обработки информации из заданий на проект и представляющая собой наборы параметров проекта, разделенных по категориям влияния на процесс управления проектами: тип проекта, виды работ, временные и финансовые издержки, характеристики персонала, риски и тому подобное;

• нейросетевая модель [1] для интерпретации и классификации проекта по различным категориям (например, тип проекта, виды работ и т.д.) на основе математической модели проекта, алгоритмов глубокого обучения и интеллектуальной обработки текстовых данных;

• нечеткие системы поддержки принятия решений [3–5] для построения сценариев управления и развития проекта в виде планов-графиков и планируемого перечня задач, полученных в результате оценки параметров (ресурсы, сроки, стоимость) и рисков проекта на основе нейросетевых технологий и продукционных моделей нечеткого вывода, включающих в себя результаты интеллектуального анализа задания на проект и фактические данные о временных, человеческих и материальных ресурсах.

Заключение

Описанная выше система реализуется в виде web-приложения с использованием клиент-серверной архитектуры и следующего стека технологий: REST, Django, Tensorflow (Python), React, React Router, Redux, Redux Saga, Axios (JavaScript).

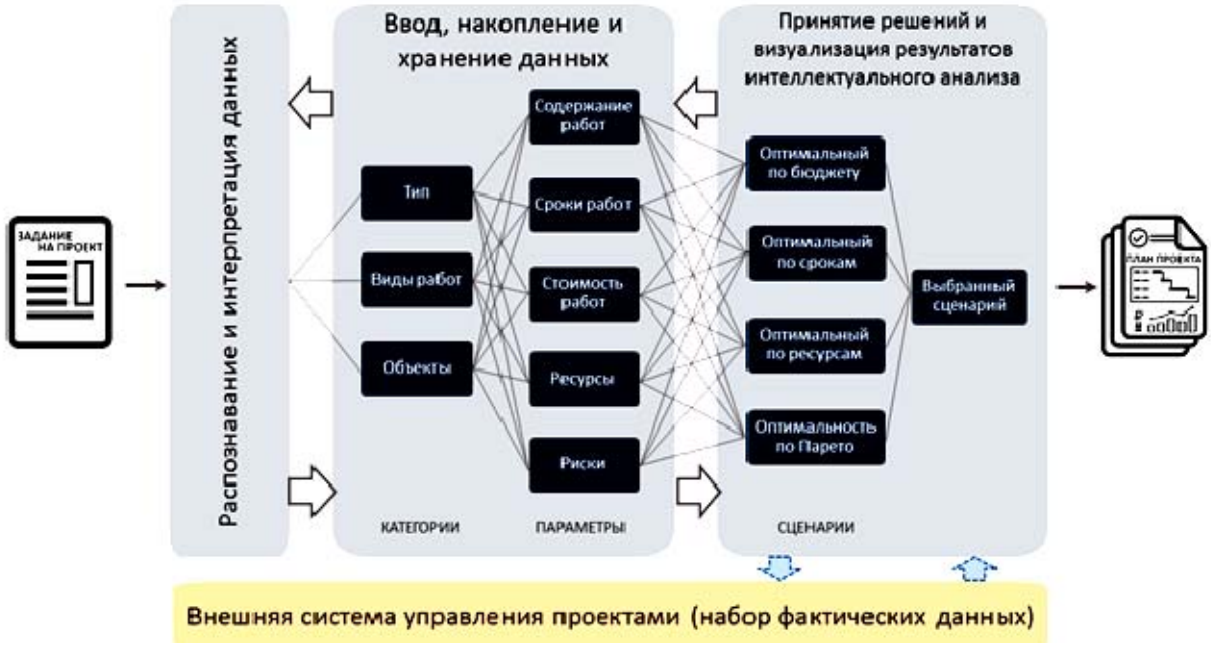


Рис. 1. Обобщенная функциональная схема системы интеллектуального анализа текста и поддержки принятия решений на основе нейроморфных алгоритмов и глубокого машинного обучения



Рис. 2. Компонентная схема реализации системы интеллектуального анализа текста и поддержки принятия решений на основе нейроморфных алгоритмов и глубокого машинного обучения

Литература

1. Тархов Д.А. Нейросетевые модели и алгоритмы: справочник. – М.: Радиотехника, 2014. – 352 с.

2. Решмин Б.И. Имитационное моделирование и системы управления: учеб.-практ. пособие. – М.: Инфра-Инженерия, 2016. – 74 с.

3. Бразовская Н.В., Бразовская О.В. Математические методы принятия управленческих решений: учеб. пособие. – Барнаул: АлтГТУ, 2004. – 153 с.

4. ЧерновВ.Г. Нечеткие деревья решений (нечеткие позиционные игры) // Информационно-управляющие системы. – 2010. – № 5.

5. Кульчин Ю.Н., Ким А.Ю., Ноткин Б.С., Люхтер А.Б. Построение алгоритма нечеткого дерева решений на основе экспериментальных данных при обработке сигналов РВОИС // Информатика и системы управления. Интеллектуальные системы. – 2014. – № 3(41).

Пискарев Артем Евгеньевич
Студент ТУСУРа
Эл. почта: artemeugpiskarev@gmail.com

Зариковская Наталья Вячеславовна
Доцент каф. АОИ ТУСУРа
ORCID: 0000-0003-0423-5635
Эл. почта: nata.chepko@gmail.com

УДК 004.048

А.Е. Пискарев, Н.В. Зариковская

Вспомогательные инструменты разработки frontend-приложений

Дан обзор современных средств разработки веб-приложений с позиции клиентской (frontend) части. Рассмотрены вспомогательные инструменты frontend-разработки, такие как интегрированные среды разработки, системы контроля версий, непрерывная интеграция и непрерывная доставка, менеджеры пакетов, статические анализаторы кода.

Ключевые слова: разработка, инструменты, frontend, backend, HTML, интегрированные среды разработки, пакетные менеджеры, системы контроля версий, непрерывная доставка, непрерывная интеграция, линтер.

Основной объем современной разработки занимает разработка веб-систем различного уровня сложности – от информационных сайтов до больших корпоративных систем, способных автоматизировать различные отрасли бизнеса. До недавнего времени команды разработчиков, реализующие подобные системы, подбирались по принципу наличия квалификации fullstack-разработчика, то есть люди, способные реализовать как серверную (backend), так и клиентскую (frontend) части информационной системы. Однако в последнее время наметилась устойчивая тенденция к разделению разработки на серверную и клиентскую части. Этому способствует, помимо всего прочего, существенное увеличение числа технологий как со стороны клиента, так и со стороны сервера. Профессиональное развитие разработчика по двум направлениям одновременно становится сложным, а порой невозможным и непродуктивным занятием. Узкая специализация, напротив, имеет более высокий приоритет.

Особое внимание стоит уделить frontend-разработке, которая за последние годы получила существенное развитие не только в технологиях, но и в инструментарии, используемом при разработке.

Рассмотрим основные этапы развития frontend разработки.

Историческая справка

В 1993 г. был опубликован первый стандарт языка гипертекстовой разметки (HyperText Markup Language, HTML). HTML создавался как язык для обмена научной и технической документацией, пригодный для использования людьми, не являющимися специалистами в области вёрстки. Первые веб-сайты представляли собой скромный (по сегодняшним меркам) набор HTML-элементов, таких как заголовок, простой текст, элементы списка и пр. [1]. HTML-код и по сей день можно писать в простом текстовом редакторе. Для него не требуются компиляторы. Код интерпретируется браузерами, которые затем отображают форматированный текст на экране монитора компьютера или мобильного устройства.

В дальнейшем возникла потребность в оформлении и стилизации получаемого из HTML текста. Для этого была разработана каскадная таблица стилей (Cascading Style Sheets, CSS).

Для создания сценариев и придания веб-сайтам интерактивности был создан язык программирования JavaScript.

С течением времени росла сложность разрабатываемых веб-сайтов. Появлялись одностраничные сайты, форумы, социальные сети, интернет-магазины, сайты различных организаций, правительственные сайты и т.д. В начале 2000-х годов широкое применение нашли и веб-приложения.

Растущая сложность требовала использования веб-разработчиками более эффективных инструментов. На сегодняшний день в среде веб-разработки (и, в частности, во frontend-разработке) активно используются интегрированные среды разработки (Integrated Development Environment, IDE), системы контроля версий (Version Control System, VCS), средства непрерывной интеграции и непрерывной доставки (Continuous Integration/Continuous Delivery, CI/CD) и т.д. Эти инструменты позволяют быстро настраивать рабочее окружение отдельно взятого веб-разработчика, организовывать командную работу, проводить проверку кода, собирать ресурсы проекта в подготовленный к выпуску цифровой продукт.

К основным вспомогательным инструментам frontend-разработки относятся: интегрированные среды разработки, системы контроля версий, непрерывная интеграция и непрерывная доставка, менеджеры пакетов, статические анализаторы кода. Рассмотрим их более детально.

Интегрированные среды разработки

Интегрированные среды разработки (IDE), по большому счёту, представляют собой достаточно ресурсоёмкие desktop-приложения (приложения, работающие непосредственно на персональных компьютерах), которые предоставляют пользователю внушительный набор функций, таких как автодополнение, статический анализ кода, навигация по коду и между файлами, рефакторинг, отладка, интеграция с системами контроля версий. Одним из примеров IDE, обеспечивающих указанные функции, является WebStorm от компании JetBrains [2]. IDE, подобные WebStorm, поддерживают различные языки программирования и стилей (например, JavaScript, TypeScript, CoffeeScript, Dart, а также CSS и препроцессоров CSS – Sass/SCSS, Less, Stylus).

Системы контроля версий

Системы контроля версий (VCS) позволяют облегчить работу с изменяющейся информацией. VCS позволяет хранить несколько версий одного и того же документа, при необходимости возвращаться к более ранним версиям, хранить историю изменений

(с указанием автора и даты). Использование VCS оправдывает себя при работе нескольких человек над одним проектом (и одним кодом).

Непрерывная интеграция и непрерывная доставка

Непрерывная доставка – практика разработки программного обеспечения и веб-приложений в частности, когда при любых изменениях в коде выполняется автоматическая сборка, тестирование и подготовка к окончательному выпуску. Непрерывная доставка является одним из основополагающих принципов разработки современных приложений, поскольку расширяет практику непрерывной интеграции за счет того, что все изменения кода после стадии сборки развертываются в тестовой и/или в рабочей среде. При правильном внедрении у разработчиков всегда будет готовый к развертыванию собранный экземпляр программного обеспечения, прошедший стандартизированную процедуру тестирования [3].

Непрерывная доставка даёт разработчикам возможность выполнять разноплановую проверку обновлений приложений перед тем, как развертывать их для конечных пользователей. Это позволяет разработчикам тщательнее проверять обновления и заблаговременно выявлять возможные проблемы. В отличие от устаревших локальных решений, облачная среда позволяет легко и экономично автоматизировать создание и репликацию нескольких сред тестирования.

Менеджеры пакетов

При использовании между различными проектами одинаковых по логике работы модулей возникает вопрос: как можно разместить выбранный модуль в одном месте и затем использовать его в разных проектах в качестве зависимости?

Для обеспечения централизованного хранения существуют пакетные менеджеры. Они предоставляют доступ к репозиторию зависимостей. Зависимости представляют собой различные библиотеки, фреймворки, функции, препроцессоры, постпроцессоры и т.д.

Одним из известных пакетных менеджеров на сегодня является NPM (Node Package Manager) [4]. Он позволяет скачивать зависимости локально – в директорию проекта. Все проектные зависимости хранятся в директории node_modules.

Другой пакетный менеджер, Yarn [5], в отличие от NPM, позволяет скачивать зависимости параллельно, увеличивая таким образом общую скорость загрузки зависимостей.

Применение папки node_modules в разных проектах на одном компьютере рано или поздно может привести к проблеме нехватки дискового пространства. Это происходит, поскольку зависимости довольно часто имеют большой объем и имеют отношение к отдельно взятому проекту, даже несмотря на то, что версии зависимостей могут повторяться между проектами. Пакетные менеджеры Yarn и NPM не решают проблему нерационального использования дискового пространства. Решение предлагает пакетный менеджер pnpm [6]. Pnpm способен сохранять централизованно различные пакеты для множества проектов, объединяя пакеты одной версии. Это может значительно сохранять дисковое пространство.

Статические анализаторы кода

Статические анализаторы кода, или иначе – линтеры (англ. linters) – инструменты, предназначенные для статической проверки кода на предмет проблемных паттернов. Линтеры предлагают внушительный список настраиваемых правил. С их помощью можно отслеживать неиспользуемые переменные, импорты, код, отступающий от заданных правилами стилей кода (англ. code style). В основном статические анализаторы используются для задания code style разной степени строгости на отдельно взятом проекте.

С помощью такой функции Git (система контроля версий), как перехват перед коммитом (pre-commit hook), возможно настроить автоматическое (в пределах возможного) форматирование измененного кода перед непосредственным созданием коммита (сохранения, фиксации изменений в программном коде). Это позволяет программистам фокусироваться на разработке, не отвлекаясь на имеющиеся отклонения от code style проекта.

Заключение

Работа современного frontend-разработчика – совокупность творческого начала и знания разработки: новые технологии, инструменты, чувство вкуса, стиля и в какой-то степени способность к проработке недостающих элементов пользовательского интерфейса. Всё это помогает frontend-разработчику стать высококлассным специалистом.

Литература

1. HTML Tag History [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://www.martinrinehart.com/frontend-engineering/ engineers/html/html-tag-history.html (дата обращения: 27.09.2019).

2. WebStorm: The Smartest JavaScript IDE by JetBrains [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.jetbrains.com/webstorm/ (дата обращения: 27.09.2019).

3. Что такое непрерывная доставка? – Amazon Web Services [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://aws.amazon.com/ru/devops/continuous-delivery/ (дата обращения: 27.09.2019).

4. Официальный сайт NPM [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.npmjs.com (дата обращения: 26.09.2019).

5. Yarn [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://yarnpkg.com/lang/en/ (дата обращения: 26.09.2019).

6. Официальный сайт pnpm [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://pnpm.js.org/ (дата обращения: 26.09.2019).

Пискарев Артем Евгеньевич
Студент ТУСУРа
Эл. почта: artemeugpiskarev@gmail.com

Зариковская Наталья Вячеславовна
Доцент каф. АОИ ТУСУРа
ORCID: 0000-0003-0423-5635
Эл. почта: nata.chepko@gmail.com

Секция 20

ЭЛЕКТРОННОЕ ГОСУДАРСТВО: ПРЕДПРИНИМАТЕЛЬСТВО И АДМИНИСТРАТИВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ

*Председатель секции – **Сидоров Анатолий Анатольевич,** зав. каф. АОИ, канд. экон. наук*

УДК 336.513

А.А. Гавриленко

Государственная интегрированная информационная система «Электронный бюджет»: хронология внедрения и текущие достижения

Рассмотрены вопросы, связанные с созданием, внедрением и функционированием государственной интегрированной информационной системы управления общественными финансами «Электронный бюджет». Автором проведен анализ мероприятий третьего этапа внедрения данной системы.
Ключевые слова: электронный бюджет, бюджетная система РФ, открытость и прозрачность бюджета, информационные системы в управлении общественными финансами.

Внедрение государственной интегрированной информационной системы управления общественными финансами «Электронный бюджет» (далее – ГИИС ЭБ) является логическим продолжением программы «Информационное государство» и предполагает формирование единого информационного пространства с применением информационных и телекоммуникационных технологий в сфере управления государственными и муниципальными (общественными) финансами. По замыслу законодателя после внедрения системы взамен разрозненного множества финансовых программ и сложностей консолидации данных у государственных и муниципальных финансистов и заинтересованного сообщества появится единый сервис, сводная, актуальная, унифицированная информация, массив данных в реальном режиме времени.

Мероприятия по разработке и внедрению ГИИС ЭБ начались в 2011 г. с принятия Концепции создания и развития ГИИС ЭБ, утвержденной распоряжением Правительства Российской Федерации (далее – Концепция) [1]. При подготовке данной концепции уполномоченными ведомствами был изучен опыт нескольких государств, проведены встречи с разработчиками и пользователями подобных систем в Бразилии, Франции, странах Азиатско-Тихоокеанского региона, проведены консультации с ведущими специалистами Всемирного банка. Проводилось изучение успешного опыта применения корпоративных систем управления финансами, обобщались лучшие практики [2].

Предполагается, что внедрение данной системы в российскую практику управления общественными финансами позволит перевести бюджетный процесс в электронную форму, обеспечить прозрачность, открытость органов государственной власти и местного самоуправления, повысить качество финансового менеджмента учреждений и организаций сектора государственного управления. Помимо вышеперечисленного, размещение информации на едином портале бюджетной системы Российской Федерации в рамках ГИИС ЭБ создаст условия для формирования механизмов общественного контроля за деятельностью организаций сектора государственного управления, повышения эффективности их деятельности, качества принимаемых ими решений.

Архитектура ГИИС ЭБ включает в себя централизованные и сервисные подсистемы, единый портал бюджетной системы Российской Федерации и сервисы взаимодействия с внешними информационными системами (рис. 1).

В новых условиях реализовать внедрение системы предполагается в три этапа:

– *на первом этапе* (2011–2014 гг.) осуществлялись проектирование системы «Электронный бюджет», формирование организационной распорядительной и технической документации, необходимой для создания системы «Электронный бюджет», велась разработка подсистем и модернизация имеющихся к данному моменту времени информационных баз;

– *на втором этапе* (2015–2017 гг.) разрабатывались подсистемы управления доходами, расходами, денежными средствами, государственным долгом, финансовыми активами, учета и отчетности, финансового контроля и информационно-аналитического обеспечения системы «Электронный бюджет», актуализировалось развитие подсистем системы «Электронный бюджет», разработанных на пер-

вом этапе, и единого портала бюджетной системы Российской Федерации (далее – ЕПБС);

– *на третьем этапе* (2018–2020 гг.) предполагается осуществить разработку подсистем управления нефинансовыми активами, оплатой труда и национальными проектами, а также дальнейшее развитие подсистем системы «Электронный бюджет», разработанных на первом и втором этапах, ЕПБС, обеспечить включение региональных и муниципальных компонентов.



Рис. 1. Взаимодействие ГИИС ЭБ с внешними информационными системами

В результате проведенных мероприятий по окончании 2020 г. необходимо обеспечить достижение следующих целевых показателей создания и развития ГИИС ЭБ [3]:

– достижение значения интегрального показателя прозрачности информации о государственных финансах – не менее 70 баллов;

– доведение доли юридически значимого электронного документооборота в общем объеме документооборота в финансово-хозяйственной деятельности федеральных организаций сектора государственного управления – не менее 70%;

– сокращение времени обработки финансовой и управленческой документации федеральных организаций сектора государственного управления – на 30%;

– сокращение сроков формирования всех видов финансовой и управленческой отчетности федеральных организаций сектора государственного управления – в 1,5 раза;

– доведение доли информации, размещаемой на едином портале бюджетной системы Российской Федерации в режиме реального времени федеральными органами государственной власти и федеральными учреждениями, – не менее 100%.

В условиях достаточно ограниченного периода времени, оставшегося до окончания мероприятий третьего этапа, интерес представляют промежуточные итоги по направлениям, обозначенным Концепцией, оценка препятствующих внедрению факторов и региональный компонент данного перехода.

Обеспечение функционирования ГИИС «Электронный бюджет» возложено на Федеральное казначейство Российской Федерации: заключение государственных контрактов на разработку и внедрение программного обеспечения, развитие функционала, сопровождение, информационная безопасность, обеспечение поддержки пользователей. Именно на Федеральное казначейство возложена ответственность за разработку функционала, приемку итоговых работ, процедуры защиты информации, качество обеспечения пользователей технической поддержкой [4].

Необходимо отметить, что по итогам 2018 г. в сфере реализации направлений Концепции были достигнуты значительные результаты по всем обозначенным направлениям [5].

Развитие единого портала бюджетной системы ГИИС ЭБ

С 1 января 2018 г. обеспечена возможность по размещению на страницах ЕПБС общероссийских базовых (отраслевых) перечней (классификаторов) государственных и муниципальных услуг, оказание и выполнение которых предусмотрено нормативными правовыми актами Российской Федерации. В течение года размещено 263 042 реестровых записи общероссийских базовых (отраслевых) перечней (классификаторов) государственных и муниципаль-

ных услуг, оказываемых физическим лицам, и 2 416 реестровых записей соответствующих перечней (отчет). Использование в ГИИС ЭБ данных записей позволяет унифицировать и упрощать процедуры формирования государственных заданий федеральным учредителям, а органам исполнительной власти субъекта, муниципального образования – формировать региональные (муниципальные перечни) и аналогично использовать возможности системы.

С опытной на промышленную эксплуатацию переведена подсистема ведения бюджетного учета ГИИС ЭБ: выполнены процедуры переноса данных и осуществлен запуск первой «волны» ФОИВ и их подведомственных казенных учреждений. В ГИИС ЭБ на 31.12.2018 г. работало 86 734 организации и 272 015 пользователей. Следует отметить использование подсистемы «Бюджетное планирование» системы «Электронный бюджет»: ФКУ «ЦОКР» осуществлено планирование бюджетных ассигнований по главе 100 «Федеральное казначейство» на 2019 г. и плановый период 2020 и 2021 гг. уже с использованием данной подсистемы.

29 сентября 2018 г. впервые внесены в Государственную Думу Российской Федерации документы и материалы (за исключением документов и сведений, отнесенных к государственной тайне либо носящих конфиденциальный характер), которые необходимо представить одновременно с проектом Федерального закона о федеральном бюджете – предоставлялись в электронном виде путем размещения электронных документов с электронной подписью министра финансов Российской Федерации уже непосредственно на ЕПБС. Всего было размещено 134 документа.

Активно проводились мероприятия по подключению к Личному кабинету ЕПБС в целях формирования и предоставления для обработки и публикации информации с использованием ЕПБС финансовыми органами субъектов Российской Федерации, органами управления территориальными государственными внебюджетными фондами. При этом следует отметить, что уже к марту 2018 г. подключение проводилось с использованием введенного в эксплуатацию онлайн-сервиса «Получение сертификата» сертификатов информационной системы «Удостоверяющий центр Федерального казначейства». Данный сервис использовали по итогам года 97% заявителей и отмечали его удобство по отношению к прежнему порядку предоставления доступа.

Развитие подсистемы учета и отчетности ГИИС ЭБ

29 декабря 2018 г. модуль ведения бюджетного (бухгалтерского) учета учреждений ГИИС ЭБ переведен с опытной на промышленную эксплуатацию. Предоставление таблиц Пояснительной записки, Сведений о результатах деятельности (ф. 0503162), Сведений об исполнении бюджета (ф. 0503164), Сведений об исполнении мероприятий в рамках целевых программ (ф. 0503166), Сведений о финансовых вложениях получателя бюджетных средств, администратора источников финансирования дефицита бюджета (ф. 0503171), Сведений о принятых и неисполненных обязательствах получателя бюджетных средств (ф. 0503175), Сведений об использовании информационно-коммуникационных технологий (ф. 0503177), Сведений о результатах деятельности учреждения по исполнению государственного (муниципального) задания (ф. 0503762), Сведений о принятых и неисполненных обязательствах (ф. 0503775), Расшифровки дебиторской задолженности по предоставленным субсидиям (грантам) (ф. 0503793) стало производиться уполномоченными путем загрузки структурированных файлов или введения показателей вручную. И в настоящий момент функционал системы оставляет возможность ручного ввода данных, что с точки зрения профессиональных пользователей остается актуальной опцией. Предварительно Федеральным казначейством были организованы и проведены соответствующие организационно-методические мероприятия: обучающие и методические материалы доступны на официальном сайте Федерального казначейства, организована линия поддержки.

По итогам завершения финансового 2018 г. проведено тестирование (с участием пилотных ТОФК) в части учета документов и операций по доведению бюджетных данных, учета бюджетных и денежных обязательств, а также в части закрытия финансового года в данной подсистеме.

Подсистема управления закупками ГИИС ЭБ

Значительным достижением 2018 г. является внедрение единого Каталога товаров, работ, услуг для обеспечения государственных и муниципальных нужд (далее – КТРУ). Функционал наполнения КТРУ реализован в том числе путем интеграции с внешними информационными системами, а также с помощью реализации Личного кабинета ЕИС для Минфина России по ведению каталога. КТРУ применяется в ЕИС на каждом этапе закупочного процесса и позволяет однозначно идентифицировать товар, работу или услугу, агрегировать данные, унифицировать сведения по самым разным заказчикам и исполнителям. На 31 декабря 2018 г. в ЕИС закупочные процедуры вели более чем 400 тыс. организаций-заказчиков, количество процедур размещения заказов превысило рубеж 4,5 млн. случаев, количество и общая сумма контрактов, зарегистрированных в реестре контрактов и размещенных на ЕИС в разрезе уровней бюджетов, представлены в таблице.

Количество и общая сумма контрактов, зарегистрированных в Реестре контрактов ЕИС, за 2018 г. в разрезе уровней бюджетов

Уровень	Кол-во, тыс. шт.	Общая сумма, млрд руб.
Заключенных от имени РФ	703,5	2 332,9
Заключенных от имени субъектов РФ	1 734,6	3 041,4
Заключенных от имени муниципальных образований	1 110,8	1 408,9
Итого	3 548,9	6 783,1

Развитие государственной автоматизированной информационной системы «Управление» − интегрированной цифровой платформы государственного управления

В целях обеспечения открытости и доступности информации об основных положениях документов стратегического планирования доступ к федеральному государственному реестру документов стратегического планирования предоставлен в открытой части портала ГАС «Управление» (доступен на gasu.gov.ru). Информация портала используется для принятия управленческих решений, мониторинга реализации проектов государственно-частного партнерства, мониторинга лицензирования отдельных видов деятельности, мониторинга исполнения поручений, содержащихся в Указах Президента РФ, контрольно-надзорной деятельности и т.д. По состоянию на 1 января 2019 г. в указанном реестре зарегистрировано более 67 300 действующих документов стратегического планирования, доступ к которым открыт конечным пользователям в открытой части портала. Органы государственной власти, являющиеся поставщиками информации в ГАС «Управление», предоставляют данные в закрытую часть портала ГАС «Управление». По состоянию на 1 января 2019 г. количество пользователей закрытой части портала ГАС «Управление» составило более 58 600 должностных лиц государственных органов и органов местного самоуправления, которое по сравнению с 1 января 2018 г. (47 776) увеличилось на 23%.

В целях реализации комплекса мер, направленных на повышение отказоустойчивости ГАС «Управление», обеспечение ее бесперебойного функционирования и доступа пользователей к закрытой части портала ГАС «Управление», в 2018 г. проведена модернизация программно-аппаратного комплекса системы, позволяющая обеспечить информационную систему необходимыми ресурсами в условиях возрастающих нагрузок и увеличения объемов информации. В целях поддержки пользователей по всем подсистемам ГИИС ЭБ организована линия поддержки пользователей в режиме 24/7.

В Томской области мероприятия по созданию условий для интеграции региональных процессов в информационную систему «Электронный бюджет» начались в 2013 г. [6]. Поскольку первоначально для самой возможности интеграции требовалось обеспечить централизацию, стандартизацию и унификацию всего регионального бюджетного процесса (планирование бюджета, его исполнение и отчетность) на уровне как самого субъекта РФ, так и на уровне муниципальных образований Томской области на протяжении 2013–2015 гг. проводились мероприятия по заключению договоров (государственных контрактов) на приобретение и установку программных продуктов (дополнительных модулей к программным продуктам), приобретение компьютерного оборудования, организацию работ по защите персональных данных в информационных системах Департамента финансов Томской области, создание резервных каналов связи и систем хранения. Проводились мероприятия по организации работ по защите персональных данных в информационных системах Департамента финансов Томской области и муниципальных образований.

С 2016 г. Департамент финансов Томской области является уполномоченным органом по внесению сведений в сводный реестр участников бюджетного процесса, юридических лиц, не являющихся участниками бюджетного процесса и их обособленных подразделениях [7], с 2018 г. – размещает информацию на едином портале бюджетной системы. Распоряжением губернатора определены уполномоченные лица на подписание от имени администрации Томской области соглашений в подсистеме бюджетного планирования ЕГИИС ЭБ по реализации региональных проектор Томской области [8]. Соответствующие мероприятия проводились и муниципальными образованиями Томской области.

В 2019 г. продолжается работа по совершенствованию ГИИС ЭБ и смежных информационных систем. В рамках развития подсистемы учета и отчетности осуществляется доработка модуля формирования бюджетной (бухгалтерской) отчетности, запущен процесс апробации модуля ведения бюджетного (бухгалтерского) учета пилотными территориальными органами Федерального казначейства в части формирования записей учета на документы по доведению бюджетных данных, сведения о бюджетных и денежных обязательствах. Производится доработка модуля централизованного ведения и распространения нормативно-справочной информации, модуля формирования и ведения реестра участников и неучастников бюджетного процесса, модуля формирования общероссийских (базовых) отраслевых перечней (классификаторов) государственных и муниципальных услуг, оказываемых физическим лицам, и федеральных перечней (классификаторов) государственных услуг и работ, модуля ведения лицевых счетов. В рамках реализации механизма казначейского сопровождения средств, предусмотренного в случаях, определенных Правилами сопровождения [9], внедряется онлайн-сервис по направлению документов для резервирования и открытия лицевых счетов.

Производится доработка функциональных возможностей личного кабинета органа контроля, действующего в соответствии с ч. 8 ст. 99 Закона № 44-ФЗ, предусматривающая упрощение процедур для конечного специалиста. Ведутся работы по разработке мобильного решения ГАС «Управление» – мобильное решение предусматривает формирование мобильных представлений информационных панелей и модулей ГАС «Управление» и их адаптацию для представления на мобильных устройствах, что является чрезвычайно востребованным профессиональному сообществу. Проводятся мероприятия по подготовке справочников, реестров и классификаторов для муниципальных участников бюджетного процесса в целях публикации ими финансовой и

иной информации о бюджете и бюджетном процессе, подлежащей размещению в открытом доступе на ЕПБС с 1 января 2020 г.

Доступность пользователям ГИИС ЭБ на текущей момент оценивается уполномоченным органом на уровне 95%, однако мониторинг специализированных форумов и наиболее частых обращений пользователей в службу технической поддержки Федерального казначейства позволяет выделить следующие проблемы: зависимость доступа к бюджетным процедурам от качества каналов связи, зависимость профессиональных пользователей от качества сопровождения, отставание функционала систем от изменений финансового законодательства, а также низкую готовность клиентской части конечных пользователей к новым требованиям: обеспечению безопасности, сервисному обслуживанию приложений и т.д. Достаточно распространенным явлением является недостаточная квалификация администраторов систем на местах, операторов и пользователей данных. В новых условиях к квалификации пользователей стали предъявляться более высокие требования в части использования информационных технологий в работе. С 1 января 2020 г. к работе в ГИИС ЭБ присоединяются муниципальные финансисты, и с учетом данного фактора чрезвычайно важно помимо технической поддержки, распространения руководств пользователей и информационных материалов разработать комплекс дополнительных мероприятий по поддержке данной группы пользователей.

Литература

1. Распоряжение Правительства РФ от 20.07.2011 N 1275-р. О Концепции создания и развития государственной интегрированной информационной системы управления общественными финансами «Электронный бюджет» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_117479/

2. Чернякова Е.Е. Система «Электронный бюджет» как инструмент обеспечения прозрачности, открытости и подотчетности деятельности в сфере управления общественными финансами [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.minfin.ru/ru/presscenter/?id_4=33238&area_id=4&page_id=2119&popup=Y

3. Постановление Правительства РФ от 30.06.2015 № 658 «О государственной интегрированной информационной системе управления общественными финансами «Электронный бюджет»» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_182473//

4. Приказ Минэкономразвития России от 15.11.2013 № 6815 «Об утверждении Порядка формирования, обработки данных, а также предоставления и анализа информации, содержащейся в государственной автоматизированной информационной системе «Управление»» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_158237/

5. Доклад о результатах деятельности Федерального казначейства за 2018 год [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://roskazna.ru/o-kaznachejstve/plany-i-otchety/o-rezultatakh-raboty-fk/

6. Приказ Департамента финансов Томской области от 26.02.2013 № 8 «Об утверждении ведомственных целевых программ Томской области на 2013–2015 годы» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://base.garant.ru/ 7763651/

7. Распоряжение Департамента финансов Томской области от 21.08.2015 № 08/18-Р «Об утверждении Регламента взаимодействия органов государственной власти Томской области в целях формирования и ведения реестра участников бюджетного процесса, а также юридических лиц, не являющихся участниками бюджетного процесса» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.consultant.ru/regbase/cgi/online.cgi?req=doc&base=RLAW091&n=92382#005719269223594936

8. Распоряжение губернатора Томской области от 11.02.2019 № 32-р «Об определении уполномоченных лиц для работы в государственной интегрированной информационной системе управления общественными финансами «Электронный бюджет» при реализации региональных проектов Томской области» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://deprio.tomsk.gov.ru/documents/front/view/id/48988

9. Постановление Правительства РФ от 30.12.2018 № 1765 «Об утверждении Правил казначейского сопровождения» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_315127/

Гавриленко Анна Александровна
Экономист Департамента финансов Томской обл.
Эл. почта: AnnGavrilenko@mail.tsu.ru

УДК 004.822:332.145

А.А. Сидоров, М.А. Шишанина

Когнитивное моделирование как инструмент разработки сценариев социально-экономического развития муниципальных образований

Выделены основные тенденции, характеризующие положение сельских поселений в Российской Федерации, а также их ключевая роль в социально-экономическом развитии муниципальных образований. Сделан вывод о сложности построения адекватной модели социально-экономического развития территории при помощи традиционных подходов и предложен инструментарий когнитивного моделирования для решения указанных задач.
Ключевые слова: социально-экономическое развитие, стратегия, сельские поселения, управление, когнитивное моделирование.

Изменения в экономической и нормативно-правовой сфере, происходящие в Российской Федерации в последние десятилетия, оказывают свое влияние на социально-экономические процессы. Особенно влияние очевидно на уровне местного самоуправления, поскольку решения, принимаемые в области социально-экономического развития (далее СЭР), расплывчаты и не соответствуют реалиям развития территорий. Дополнительно сказывается отсутствие соответствующих компетенций в области стратегического планирования и прогнозирования у лиц, принимающих решения и разрабатывающих основополагающие документы в области СЭР на муниципальном уровне.

Несмотря на имеющиеся противоречия в области СЭР, именно сельские территории обозначены в стратегических документах на федеральном уровне перспективными для развития. Однако, вопросы научно-методического обоснования решений, принимаемых на разных уровнях управления, остаются на текущий момент открытыми.

Роль сельских поселений в СЭР муниципальных образований

Сельские поселения (далее – СП) в истории Российской Федерации всегда оказывали значительное влияние на её развитие. Однако на текущий момент ситуация сложилась иначе:

– количество СП с каждым годом сокращается, а часть из них существует только на карте [1];

– численность населения, проживающего в СП, постепенно сокращается за счет естественной убыли и миграционного оттока, несмотря на административно-территориальные преобразования, происходящие на территориях (присваивание статуса СП городским);

– динамика численности населения в СП имеет яркие региональные особенности (из всех федеральных округов рост численности сельского населения происходит только в Северо-Кавказском федеральном округе) [2];

– в СП доля людей трудоспособного возраста ниже, чем в городских поселениях (примерно 50% против 60%), что вызывает диспропорции в развитии рынка труда (уровень безработицы в СП выше, чем в городских, в 2 раза) [1];

– снижение количества объектов социальной инфраструктуры. В [2] отмечено, что за последние 20 лет количество таких объектов уменьшилось в 2 раза;

– проблемы транспортной доступности (по данным Росавтодора [3], 30% всех сельских населенных пунктов в России не имеют связи по дорогам с твердым покрытием с сетью дорог общего пользования региона), дополнительно часто отсутствуют регулярные перевозки пассажиров по необходимым маршрутам;

– благоустройство сельского жилищного фонда традиционно остается в состоянии упадка по сравнению с городскими поселениями (только треть всех населенных пунктов имеют водопровод [1]);

– уровень жизни населения в СП значительно ниже, чем в городских (среднемесячная номинальная начисленная заработная плата по виду экономической деятельности «Сельское хозяйство, охота и лесное хозяйство» за 2018 г. самая низкая по сравнению со среднемесячными зарплатами в организациях по иным видам экономической деятельности) [4];

– на территориях СП увеличивается количество негативных социальных явлений (преступления, наркомания, алкоголизм, токсикомания и т.д.);

– по данным ВЦИОМ [5], жители СП не удовлетворены качеством своей жизни и экономическим положением.

Негативные преобразования, происходящие на территориях СП, обуславливают необходимость стратегических государственных программ. Однако, точечные меры стимулирования миграции и сохранения численности сельского населения не могут быть эффективными, поскольку их реализация сопряжена с отсутствием фактических условий для развития сельских территорий. Для решения проблемы необходимы комплексные социально-экономические преобразования территорий всех уровней.

Инструментарий когнитивного моделирования для анализа и оценки СЭР

Принятие решений в области СЭР сопряжено со многими трудностями, в частности, в процессе планирования и прогнозирования не учитывается мнение реального населения, проживающего на территории муниципального образования и конкретного СП, а также бизнес-сообщества. В результате стратегические документы разрабатываются и реализуются органами местного самоуправления больше для «галочки», а не для реальных социально-экономических изменений. Дополнительные сложности связаны с тем, что СЭР – сложный и взаимообусловленный процесс, который трудно прогнозировать, не учитывая внутреннего и внешнего влияния.

Для решения данной проблемы, выявления особенностей развития ситуации и её прогнозирования целесообразно использовать различные методы моделирования слабоструктурированных систем. В [6–8] отмечено, что для моделирования такого рода ситуаций подходит инструментарий когнитивного моделирования.

В [9] представлены следующие основные этапы осуществления когнитивного анализа:

– сбор информации об объекте исследования (детальное рассмотрение предметной области с определением основных целей и границ моделируемой системы);

– проектирование когнитивной модели (извлечение и структуризация экспертного знания, касающегося проблематики предметной области. Структуризация знаний ведет к выявлению множества факторов и связей между ними, являющихся основой когнитивной карты);

– верификация когнитивной модели (проверка необходима обязательно, так как экспертные знания могут быть не формализованы, поэтому математическая проверка не будет корректной. Целесообразно для решения проблемы использовать «исторический

метод», который предполагает тестирование на конкретной ситуации, произошедшей в прошлом);

– определение вариантов развития ситуаций (поиск значения целевых показателей при воздействии на целевые факторы, в результате которого определяются стратегии развития системы).

Одним из основных этапов моделирования является построение когнитивной карты ситуации, которая представляется в виде ориентированного знакового графа и задается матрицей смежности: $W_G = (w_{ij})_{h\times h}$, причем элемент w_{ij} матрицы W_G, стоящий на пересечении i-й строки и j-го столбца, может принимать следующие значения: –1, 1, 0, что показывает силу связи.

Относительно СЭР целесообразно в качестве факторов когнитивной модели использовать показатели СЭР, так как именно они, оказывая решающее воздействие друг на друга, определяют текущий и будущий его уровень.

Анализ исследований показал, что для оценки СЭР территорий чаще всего используются различные методы [10]:

– балльный;

– ранговый;

– нормативный;

– интегральный.

Логично, что при оценке СЭР следует использовать множество показателей, которые в наибольшей степени характеризуют объект исследования. Однако при выборе показателей возникают следующие трудности: не всегда показатели достоверны; системны; репрезентативны; доступны.

Когнитивное моделирование СЭР

При предварительном анализе показателей СЭР, использующихся для оценки, выделено, что классификации показателей ориентированы на уровень муниципального образования (муниципальных районов) и упускают из виду особенности СП. Дополнительно показатели, представленные в стратегических документах, изначально имеют значительную связь друг с другом или рассчитываются по отношению к конкретным значениям (например, обеспеченность врачами на 10 тыс. чел. и др.). Логичным будет подход проектирования когнитивной модели через интегральные показатели, чтобы сократить количество значимых факторов в модели, а также избежать двойного влияния факторов.

В результате выявлены основные факторы когнитивной модели (табл. 1) и построена матрица отношений факторов (табл. 2).

Таблица 1

Основные факторы когнитивной модели

№	Наименование фактора
1	Качество жизни
2	Природная среда
3	Бюджет
4	Социальная инфраструктура
5	Инженерно-коммунальная инфраструктура
6	Миграционный поток
7	Производство
8	Человеческий капитал
9	Инвестиционный климат
10	Доходы населения

Таблица 2

Матрица отношений когнитивной модели

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	+1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	+1	+1	0	0	0	0	0
4	+1	0	0	0	0	0	0	+1	0	0
5	+1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	–1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	–1	+1	0	0	0	0	0	0	+1
8	0	0	0	0	0	0	+1	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	+1	0	0	0
10	+1	0	0	0	0	–1	0	0	0	0

На основе выделенных ранее факторов и отношений между ними построена типовая когнитивная модель (рис. 1), которая может служить основой для моделирования управления СЭР конкретных территорий.



Рис. 1. Типовая когнитивная модель СЭР

Исходя из полученной модели, следует выделить, что целесообразно в качестве целевого фактора использовать качество жизни, поскольку в стратегических документах федерального уровня данный фактор выделен ключевым в области СЭР сельских территорий.

Заключение

СЭР территорий – сложный процесс, реализация которого на текущий момент сопряжена со множеством проблем, начиная с нормативно-правового регулирования и заканчивая отсутствием навыков стратегического планирования и целеполагания у муниципальных служащих. В итоге эффективность решений в области СЭР зависит от информации, которой располагает лицо, принимающее решение. Однако на практике данная информация не учитывает территориальных особенностей и реалий развития конкретных СП.

Для решения данной проблемы целесообразно представлять СЭР в виде слабоструктурированной модели, для моделирования которой может быть применен инструментарий когнитивного моделирования.

В результате когнитивная модель позволит решить два типа задач: статические (анализ текущей ситуации, включающий исследование влияний од-

них показателей на другие, исследование устойчивости ситуации в целом и поиск структурных изменений для получения устойчивых структур) и динамические (генерация и анализ возможных сценариев развития ситуации во времени).

На основе генерации различных сценариев и управления целевыми факторами можно спрогнозировать и определить основные стратегии СЭР территорий. Однако, несмотря на различие в развитии территорий, исходя из природно-климатических условий, численности населения и профиля деятельности, можно выделить типовые модели СЭР определенных территорий, что в результате позволит облегчить процесс принятия управленческих решений при выборе стратегии СЭР.

Литература

1. Статистическая информация о социально-экономическом развитии сельских территорий Российской Федерации [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.gks.ru/free_doc/new_site/region_stat/sel-terr/sel-terr.html, свободный (дата обращения: 09.09.2019).

2. Исследование центра экономических и политических реформ «Россия – страна умирающих деревень» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.gks.ru/free_doc/new_site/region_stat/sel-terr/sel-terr.html, свободный (дата обращения: 11.09.2019).

3. Доклад начальника Управления строительства и эксплуатации автомобильных дорог [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://rosavtodor.ru/about/kollegiya-rosavtodora/materialy-kollegii/2018/iii-kvartal-2018/252281, свободный (дата обращения: 11.09.2019).

4. Среднемесячная номинальная начисленная заработная плата работников по полному кругу организаций по видам экономической деятельности (в соответствии с ОКВЭД2) в Российской Федерации в 2017–2019 гг. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.gks.ru/free_doc/new_site/population/trud/sr-zarplata/t6.xls, свободный (дата обращения: 09.09.2019).

5. Качество жизни россиян – ключевые факторы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://wciom.ru/index.php?id=236&uid=9460, свободный (дата обращения: 09.09.2019).

6. Силов В.Б. Принятие стратегических решений в нечеткой обстановке. – М.: ИНПРО-РЕС, 1995. – 228 с.

7. Целых А.Н. Применение когнитивного моделирования к управлению в слабоструктурированных системах / А.Н. Целых, М.В. Петряева // Альманах современной науки и образования. – 2015. – № 9(99). – С. 138–140.

8. Авдеева З.К. Когнитивный подход в управлении / З.К. Авдеева, С.В. Коврига, Д.И. Макаренко и др. // Проблемы управления. – 2007. – № 3. – С. 2–8.

9. Сидоров А.А. Концептуальные основы когнитивного моделирования социально-экономического развития муниципальных образований / А.А. Сидоров, Д.В. Сапрон // Доклады ТУСУР. – 2015. – № 2, 36. – С. 130–135.

10. Толокольников А.Ю. Интегральная оценка социально-экономического развития сельских территорий Алтайского края // Вестник АлтГАУ. – 2013. – №1 (99). – С. 113–119.

Сидоров Анатолий Анатольевич
Канд. экон. наук, доцент, зав. каф. АОИ ТУСУРа
ORCID 0000-0002-9236-3639
Эл. почта: saa@muma.tusur.ru

Шишанина Мария Александровна
Аспирант каф. АОИ,
ст. преп. каф. АОИ ТУСУРа
Эл. почта: mari-scan@yandex.ru

Секция 21

RESULTS OF POSTGRADUATE AND MASTER STUDENTS' RESEARCH IN THE SPHERE OF ELECTRONICS AND CONTROL SYSTEMS

Председатели секции – ***Покровская Елена Михайловна,*** *зав. каф. ИЯ, канд. филос. наук;*
Шпит Елена Ирисметовна, *ст. преп. каф. ИЯ*

UDC 004.021

M.B. Bardamova

Constructing the fuzzy classifier for analyzing imbalanced network traffic data with the gravitational search algorithm

Constructing a data analysis system in the presence of an imbalance in the classes is a difficult task. We propose to improve the fuzzy classifier by conducting the procedures for selecting features and setting parameters to reduce complexity and increase the accuracy of the final model. We apply the gravity search algorithm as an optimization algorithm and use a new fitness function, which includes overall accuracy and geometric mean.
Keywords: fuzzy classifier, gravitational search algorithm, imbalanced data.

The classification task is to divide objects in the feature space into classes or categories based on retrospective observations for which class label values are known. Real data is characterized by an imbalanced distribution of classes when the number of instances in some classes (majority classes) exceeds the number of instances in other classes (minority classes). This phenomenon is mainly due to the limited appearance of minority class instances. For example, normal web browsing traffic is dominant when classifying traffic on the Internet.

The search for regularity in imbalanced data is a difficult task for specialists in data mining, machine learning, pattern recognition, and statistics [1]. The main problem of constructing classifiers of imbalanced data is poor adaption of standard training algorithms, which leads to a significant reduction in the effectiveness of the classification. Due to the imbalance between classes, the standard classifier usually defines instances of minority classes incorrectly, since the model is retrained on instances of bigger classes [2].

It is not enough to evaluate the constructed classifier of imbalanced data using an overall accuracy [3]. Positive classes (with the least number of instances) are usually more important than negative classes (with the most instances). Reducing the misclassification of minority class instances is crucial in many real-world applications [4, 5]. However, improving the classification quality of positive classes often leads to poor recognition of instances of negative classes, as instances of different classes often intersect. Thus, in each data classification task, the developer of the data analysis system needs to prioritize: either to focus on improving overall accuracy, or to try to correctly identify positive instances with some worsening in the definition of negative ones, or to look for some compromise. Finally, it depends on the purpose of creating the model and the requirements for it.

There is a large list of classification methods, for example, naive Bayes classifiers, support vector machines, artificial neural networks, etc. Unlike other methods, fuzzy classification does not imply the existence of rigid boundaries between neighboring classes. A classified object may belong to several classes with various degrees of confidence. The advantage of a fuzzy classifier is easy understandability of the rules and their interpretability, which makes fuzzy classifiers a practically useful data analysis tool.

In many real-world tasks, it is required to provide not only an accurate system, but also a computationally simple one. Therefore, we propose to use two procedures for constructing a fuzzy classifier. The first one is to reduce the input feature space to minimize complexity. The second one is tuning the fuzzy classifier parameters, which allows increasing the definition quality of the output class label. Since these two procedures can be formulated as optimization problems, the same optimization algorithm can be applied to solve them. We use the gravitational search algorithm (GSA), which has previously proven itself to be effective when working with a fuzzy classifier [6].

Since the goal of our work is to improve the efficiency of the fuzzy classifier of imbalanced data, it is necessary to choose the appropriate metric that will be used as a fitness function for GSA. We explore the possibilities of applying the following metrics: overall accuracy, geometric mean, and a new function that combines the two previous estimates to find a compromise version of the classifier.

The fuzzy classifier

The task of classification algorithms is to determine the most suitable class from the set of all classes $\mathbf{C} = \{c_1, c_2, \ldots, c_l\}$ to each object $\mathbf{x}_p = \{x_{p1}, x_{p2}, \ldots, x_{pm}\}$ from the set of n objects ($p \in [1, n]$), where x_{pk} is the value of the k^{th} feature of the p^{th} object, $k \in [1, m]$, m is the number of features. The fuzzy classifier is constructed on the basis of production rules, each of which has its own set of fuzzy terms.

It is required to introduce the binary feature vector $\mathbf{S} = (s_1, s_2, \ldots, s_m)$ into the antecedent part to use the possibility of feature selection in the wrapper mode. If $s_k = 1$, then the k^{th} feature is taken into account in the classification, otherwise the feature is ignored. Given the vector **S**, the fuzzy rule will change as follows:

$$R_i\text{: If } (s_1 \wedge x_1) \text{ is } T_{i1} \text{ and } (s_2 \wedge x_2) \text{ is } T_{i2} \text{ and } \ldots$$
$$\text{and } (s_m \wedge x_m) \text{ is } T_{im} \text{ then } class \text{ is } c_j,$$

where the record $(s_p \wedge x_p)$ indicates the use ($s_p = 1$) or ignoring ($s_p = 0$) of the feature and its terms in the classifier. The binary vector $\mathbf{S} = (s_1, s_2, \ldots, s_m)$ is formed by the feature selection algorithm.

Fuzzy term is a structure on the domain of definition of a feature, reflecting the degree of belonging of an object to a rule. The terms can be described by membership functions of various kinds: triangles, trapezoids, bells, or Gaussian-type functions. In this work, we used the membership functions of the Gaussian type, which differ from other types by the property of symmetry.

A Gaussian fuzzy term characterizing the k^{th} feature in the i^{th} rule is given by the following expression:

$$T_{ik}(\mathbf{x}) = e^{-\left(\frac{\mathbf{x}-b_{ki}}{c_{ki}}\right)^2}, \qquad (1)$$

where i is the rule number, ($i \in [1, r]$), r is the number of fuzzy rules, b is the coordinate of the term vertex, c is the function dispersion. The term parameters listed sequentially for each feature compose the antecedent vector $\boldsymbol{\theta} = (b_{11}, c_{11}, b_{12}, c_{12}, b_{13}, c_{13}, b_{21}, c_{21}, \ldots, b_{mr}, c_{mr})$.

In this paper, we apply an algorithm based on the extreme values of classes of the training data. This algorithm allows constructing compact classifiers by using the minimum possible number of rules.

The output of the classifier for the input string $\mathbf{x}_p$ is formed by performing three steps. In the first step, the value of the membership function of the object to each term is calculated:

$$\mu_{ik}(x_{pk}) = T_{ik}(x_{pk}). \qquad (2)$$

The association degree of the object to each rule is evaluated in the second step:

$$\beta_i(\mathbf{x}_p) = \prod_{k=1}^{m} \mu_{ik}(x_{pk}). \qquad (3)$$

The third step is to define the output class by the maximum rule. The output of the classifier will be the class that corresponds to the rule with the highest degree of association:

$$\text{class}(\mathbf{x}_p) = c_{j^*},\ j^* = \arg\max_{1 \le i \le m} \beta_i(\mathbf{x}_p). \qquad (4)$$

The constructed model can be evaluated using various performance indexes after the procedure of forming the output.

Classification quality evaluation

The most common classification quality criterion is the overall accuracy, which is the percentage of correct classification. In the observation table $\{(\mathbf{x}_p; c_p), p \in [1, z]\}$, where z is the number of instances, the measure of accuracy can be given as follows:

$$Acc(\boldsymbol{\theta}, \mathbf{S}) = \frac{\sum_{p=1}^{z} \begin{cases} 1, \text{ if } c_p = \arg\max\limits_{1 \le j \le m} f_j(\mathbf{x}_p; \boldsymbol{\theta}, \mathbf{S}) \\ 0, \text{ otherwise} \end{cases}}{z}, \qquad (5)$$

where $f(\mathbf{x}_p; \boldsymbol{\theta}, \mathbf{S})$ is the output of the fuzzy classifier with the parameter vector $\boldsymbol{\theta}$ and the binary feature vector **S** at the point $\mathbf{x}_p$. As noted earlier, overall accuracy is not an objective assessment of the quality of classification when there is an imbalance in the class distribution.

The geometric mean is a sensitive estimate for the accuracy of each class:

$$GM(\boldsymbol{\theta}, \mathbf{S}) = \left(\prod_{i=1}^{l} Acc_i(\boldsymbol{\theta}, \mathbf{S})\right)^{1/l}, \qquad (6)$$

where $Acc_i(\boldsymbol{\theta}, \mathbf{S})$ is the classification accuracy of the i^{th} class:

$$Acc_i(\boldsymbol{\theta}, \mathbf{S}) = \frac{\sum_{p=1}^{z_i} \begin{cases} 1, \text{ if } c_p = \arg\max\limits_{1 \le j \le m} f_j(\mathbf{x}_p; \boldsymbol{\theta}, \mathbf{S}) \\ 0, \text{ otherwise} \end{cases}}{z_i}, \qquad (7)$$

where z_i is the number of instances with the i^{th} class label. Thus, the fewer instances are represented in a class, the more significantly the geometric mean will increase as the number of correctly classified instances of that class increases. In the case when one of the classes is completely classified incorrectly, the geometric mean will be zero.

The classifier will rather focus on recognizing negative classes when using general accuracy as the objective function. The geometric mean, on the other hand, can lead to a large loss in the quality of classification of negative classes, even if the accuracy of positive classes is low. We propose to use a compromise option that combines both of these metrics and allows variating their importance degree using the coefficient $\gamma \in [0; 1]$:

$$Fit(\boldsymbol{\theta}, \mathbf{S}) = \gamma \cdot GM(\boldsymbol{\theta}, \mathbf{S}) + (1 - \gamma) \cdot Acc(\boldsymbol{\theta}, \mathbf{S}). \qquad (8)$$

The problem of constructing a fuzzy classifier reduces to finding the maximum of the selected function.

Classifier training with the gravitational search algorithm

We suggest using the gravitational search algorithm for the operations of feature selecting and parameter tuning in two versions: binary for optimizing the binary feature vector **S** and continuous for optimizing the continuous vector of term parameters $\boldsymbol{\theta}$. The GSA was first proposed by Rashedi, Nezamabadi-pour, and Saryazdi in 2009 [7], and in the same year its binary version was described [8]. This algorithm is widely used

to solve various problems. For example, GSA was applied to optimize parameters in a geothermal power generation system in the study of Özkaraca and Keçebaş [9], to determine the location of a microseismic source in order to warn about explosions in tunnels in [10]; Mahanipour and Nezamabadi-pour describe the use of GSA for the automatic creation of computer programs in [11] and for the feature construction in [12].

The application of the binary and continuous versions of GSA for the fuzzy classifier was described in detail earlier in [6]. In a binary GSA, a population of particles corresponding to binary feature vectors **S** are randomly generated. At each iteration, the algorithm calculates particle masses, gravity, acceleration, and velocity. Transformation functions are applied to transform the obtained speed value into a binary equivalent in order to update the feature vector. In this paper, we use the V-type transformation function:

$$\begin{aligned} &\text{IF } (\text{rand}(0;1) < \left|\frac{2}{\pi}\arctan(\frac{\pi}{2}v_i^d(t+1))\right|), \\ &\text{then } s_i^d(t+1) = \overline{s_i^d}(t), \\ &\text{else } s_i^d(t+1) = s_i^d(t), \end{aligned} \quad (9)$$

where rand(0;1) is a random number in the range from 0 to 1, v_i^d is the speed of the d^{th} element of the i^{th} particle, s_i^d is the value of the d^{th} element of the i^{th} feature vector, t is the iteration number.

Continuous GSA optimizes the numerical vector θ consisting of the term parameters. In this version of the algorithm, the population is formed as follows: the first vector is input to the algorithm after the stage of creating the classifier structure; the remaining vectors are generated based on the first vector with some deviation. Unlike the binary version, in GSA_c the vector value is updated by simple addition of the current value to the calculated speed:

$$\theta_i^d(t+1) = \theta_i^d(t) + V_i^d(t+1), \quad (10)$$

where θ_i^d is a value of the d^{th} element of the i^{th} parameter vector.

Five parameters are used in both versions of GSA: the number of iterations t, the number of particles P, the value of the gravitational constant G_0, the coefficient of the gravitational constant decrease α, and the variable for calculating the attractive force ε. The computational complexity of the GSA with n agents is of $O(n \times d)$, where d is the search space dimension [13]. We did not modify the original GSA, therefore, both algorithms have complexity $O(P \times d)$, where P is the number of particles and d is the size of the dataset.

The classifier training procedure is as follows. The binary GSA searches for the optimal vector **S** after creating the initial vector **θ** by the algorithm based on the extremes values of classes. Then, the classifier is rebuilt on the obtained set of features $\mathbf{S}_{\text{best}}$, and the algorithm for optimizing the term parameters is launched. Continuous GSA runs for a given number of iterations and provides the best parameter vector $\boldsymbol{\theta}_{\text{best}}$. The resulting $\mathbf{S}_{\text{best}}$ and $\boldsymbol{\theta}_{\text{best}}$ are used to construct and validate the classifier on test data.

The experiment

The experiment was conducted on the KDD Cup 199 data set in order to test the possibility of using the fuzzy classifier for traffic analysis. In its original form this set contains 41 features, 4898431 instances, and 23 classes, among which one class represents a normal connection, and the other ones are the attacks. We use a shortened version of KDD in which all classes corresponding to malicious connections are combined into one. In addition, we removed the nominal features and deleted the instances using a random search. Moreover, all duplicate instances have been deleted. The final experimental set consisted of 2 classes, 38 features and 5000 instances with an imbalance ratio $IR = 4.1$.

The data were divided into five pairs of training and test samples according to five-fold cross-validation scheme. The structure of the fuzzy classifier was formed by the algorithm based on the extremes values of classes with symmetric Gaussian terms. Since only two classes are represented in all data, the number of rules in all cases was two. The priority coefficient γ in the fitness function of both versions of the optimization algorithm was 0.5.

The feature selection was performed at the first stage of the experiment. The binary gravitational search algorithm was run six times on all data samples. Due to the stochasticity of the algorithm, six different feature subsets could be obtained on each sample, among which the best set was selected according to the value of the fitness function. The following parameters were empirically selected for the binary gravitational algorithm: 200 iterations, 15 particles, $G_0 = 10$, $\alpha = 10$, and $\varepsilon = 0.01$.

At the second stage of the experiment, the continuous gravitational search algorithm optimized the parameters of classifiers constructed on the chosen feature subsets. The following parameters were set for the continuous gravitational search algorithm: 500 iterations, 15 particles, $G_0 = 10$, $\alpha = 10$, and $\varepsilon = 0.01$. The particle population was cleared after each 150$^{\text{th}}$ iteration except for the best particle, on the basis of which the population was generated anew.

Table shows the results of constructing the fuzzy classifier on the KDD Cup 1999 data set. It presents the following performance indexes: the number of features in the subset F, the overall accuracy Acc, the geometric mean GM, the number of true positive instances TP, the number of false positive instances FP, the number of false negative instances FN, and the number of true negative instances TN.

Results of constructing the fuzzy classifier with gravitational search algorithm

№	Training							Test					
	F	*Acc*	*GM*	*TP*	*FP*	*FN*	*TN*	*Acc*	*GM*	*TP*	*FP*	*FN*	*TN*
1	19	98.90	98.94	779.40	36.40	7.80	3176.40	98.70	98.69	194.20	10.20	2.60	792.80
2	22	99.25	99.33	783.00	26.00	4.20	3186.80	99.14	99.08	194.80	6.40	2.00	796.60
3	14	99.10	99.23	782.80	31.60	4.40	3181.20	99.12	99.26	195.80	7.60	1.00	795.40
4	12	98.90	98.93	779.20	36.00	8.00	3176.80	98.80	98.75	194.20	9.40	2.60	793.80
5	5	98.54	98.87	782.60	53.80	4.60	3159.00	98.38	98.61	194.80	14.20	2.00	789.00

All indexes are averaged over five samples. The number *N* corresponds to the number of the sample on which the presented subset of features was found by the binary gravity algorithm.

The classifier № 3 can be considered to be the best classifier, as it has an average number of features and at the same time demonstrates high quality classification results.

Conclusions

We considered the possibility of applying the gravitational search algorithm to improve the efficiency of the fuzzy classifier in the presence of data imbalance. Binary GSA allows reducing the space of input features by selecting informative feature subsets in the wrapper mode for the fuzzy classifier. Continuous GSA helps to improve the quality of classification. We have applied the new metric that allows influencing the final performance indexes of the model by choosing the priority coefficient. The constructed fuzzy classifiers demonstrated high results on the data set for traffic analysis KDD CUP 1999.

This research was supported by the Ministry of Education and Science of Russian Federation, Government Order no. 2.8172.2017/8.9 (TUSUR).

References

1. Special Issue on Recent Advances in Theory, Methodology and Applications of Imbalanced Learning // IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems. – 2018. – Vol. 29. – 763 p.

2. Statistics with Imperfect Data. Information Sciences. – 2013. – 245 p.

3. He H., Garcia E.A. Learning from Imbalanced Data // IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering. – 2009. – Vol. 21. – P. 1263–1284.

4. Peng L., Zhang H., Yang B., Chen Y. A new approach for imbalanced data classification based on data gravitation // Information Sciences. – 2014. – Vol. 288. – P. 347–373.

5. Mathew J., Pang C.K.; Luo M., Leong W.H. Classification of Imbalanced Data by Oversampling in Kernel Space of Support Vector Machines // IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems. – 2018. – Vol. 29. – P. 4065–4076.

6. Bardamova M., Hodashinsky I., Konev A., Shelupanov A. A Fuzzy Classifier with Feature Selection Based on the Gravitational Search Algorithm // Symmetry. – 2018. – Vol. 10. – 609 p.

7. Rashedi E., Nezamabadi-pour H., Saryazdi S. GSA: A Gravitational Search Algorithm // Inf. Sci. – 2009. – Vol. 179. – P. 2232–2248.

8. Rashedi E., Nezamabadi-pour H., Saryazdi S. BGSA: binary gravitational search algorithm // Nat. Comput. – 2010. – Vol. 9. – P. 727–745.

9. Özkaraca O., Keçebaş A. Performance analysis and optimization for maximum exergy efficiency of a geothermal power plant using gravitational search algorithm // Energy Conversion and Management. – 2019. – Vol. 185. – P. 155–168.

10. Ma C., Jiang Y., Li T. Gravitational Search Algorithm for Microseismic Source Location in Tunneling: Performance Analysis and Engineering Case Study. – Rock Mech Rock Eng., 2019. – P. 1–18.

11. Mahanipour A., Nezamabadi-pour H. GSP: an automatic programming technique with gravitational search algorithm // Appl Intell. – 2019. – Vol. 49. – P. 1502–1516.

12. Mahanipour A., Nezamabadi-pour H. A multiple feature construction method based on gravitational search algorithm // Expert Systems with Applications. – 2019. – Vol. 127. – P. 199–209.

13. Pelusi D., Mascella R., Tallini L., Nayak J., Naik B., Abraham A. Neural network and fuzzy system for the tuning of Gravitational Search Algorithm parameters // Expert Systems with Applications. – 2018. – Vol. 102. – P. 234–244.

Marina B. Bardamova
Lecturer, Junior Research Officer, Postgraduate Student
Department of Complex Information Security of Computer Systems of TUSUR
4ORCID (0000-0002-0567-590X)
Email: bmb@fb.tusur.ru

UDK 621.372.8

A.D. Bezpaly

Refractive index changes induced in the surface layer of lithium niobate during the channel waveguide formation

The article investigates the possibilities of refractive index modulation during the channel waveguide formation in the photorefractive surface layer of a lithium niobate crystal. Channel waveguide structures were formed by point-by-point exposure of a crystal surface at different time intervals using laser radiation from the green range.
Keywords: optical inducing, lithium niobate, channel waveguides, refractive index, photorefractive effect, interference.

Today, the design and creation of different optical elements are promising for application in photonic telecommunication devices [1]. Formation of optical elements based on channel waveguides and diffraction gratings is possible in different crystal materials in optics [2]. One of them is lithium niobate ($LiNbO_3$). Lithium niobate crystals are widely used in the photonic industry due to an advantageous combination of functional characteristics and commercial availability. The $LiNbO_3$ crystal may be used as a multipurpose substrate for fabrication of integrated optical devices, such as phase optical modulators, switches, multi– and demultiplexers based on channel waveguides and diffraction gratings [3]. The most interesting property of $LiNbO_3$

crystals is the photorefractive effect allowing changing the refractive index under the light influence [2, 3]. It gives the opportunity to form channel waveguide structures and diffractive ones by direct laser writing or optical inducing [4, 5].

In this work, we present the experimental study of refractive index changes obtained during the formation of channel waveguide structures in the photorefractive surface layer of a lithium niobate substrate using laser radiation with a wavelength of 532 nm.

Formation of channel waveguide structures

Channel waveguide structures were formed in a Y-cut $LiNbO_3$ substrate with a copper (Cu) doped surface layer. The thickness of the surface layer was ~200 μm. The light source was a solid-state YAG:Nd^{3+} laser with frequency doubling, which operated in a continuous mode (λ = 532 nm). A laser beam with a light power of 10 mW was focused onto the crystal surface with a 10× microscopic objective. In different experiments, at forming channel waveguide structures, we performed point-by-point exposure of the crystal surface layer with the light polarization corresponding to the ordinary and extraordinary waves of $LiNbO_3$. Exposed areas were the straight stripes with decreased refractive indices, oriented along the X-axis direction of the crystal. These stripes consisted of a number of points induced by a focused light beam with a diameter of 20 μm (for the half maximum intensity level). The exposure duration of one point was varied in our experiments from 0.5 to 60 seconds.

Investigation of refractive index changes at the formation of channel waveguides

The investigation of the value of the refractive index change Δn in the surface layer of $LiNbO_3$ at point-by-point inducing of the channel waveguide structures was performed using a Jamin interferometer. To do it, we induced the single stripes with the decreased refractive indices and the lengths of 1 mm as shown in Fig. 1.

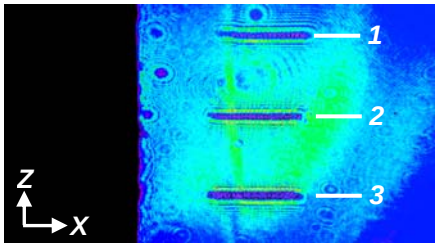


Fig. 1. Light pattern at the crystal exit facet, obtained at optical probing of the regions induced by the different point-by-point exposure duration to the surface layer: *1* – 5 seconds; *2* – 15 seconds; *3* – 30 seconds

Each stripe consisted of a number of sequentially placed points with the distance of ~20 μm between their centers. The exposure duration of each point in the stripe marked by number 1 was 5 seconds; in the stripe marked by number 2 was 15 seconds; in the stripe marked by number 3 was 30 seconds. Thus, we created the induced areas obtained at point-by-point exposure of the $LiNbO_3$ surface with the different time intervals.

After the formation of regions induced with different time intervals, the experimental sample was added to one arm of the interferometer. The light source of the interferometer was He-Ne laser with the wavelength of λ = 633 nm. Light polarization of the laser corresponded to the extraordinary wave of the crystal. To illuminate the whole area of the induced region, we increased transversal sizes of the laser beam using a collimator. The laser beam diameter was ~3 mm for the full width at half maximum (FWHM) after passing through the collimator. Then, to split the laser beam into two parallel rays, it was directed to the first mirror with two edges acting as a beam splitter. The split rays were combined by the second mirror located in parallel to the first one. The signal from the interferometer output was transmitted to the CCD camera by a spherical lens. The interference image appeared after we placed the experimental sample into one arm of the interferometer.

We varied the value of the refractive index change Δn by different durations of the crystal surface exposure and determined it by the analysis of the interferograms. After evaluating the phase shift in the induced regions, we calculated the values of Δn, which were contributed at different durations of point-by-point exposure of the surface layer, using the formula [6]:

$$\Delta n = ((\lambda \cdot \Delta\varphi)/(2\pi d)), \qquad (1)$$

where λ is a wavelength of the light source of the interferometer; $\Delta\varphi$ is the phase shift of fringes in the interferogram; d is the thickness of the surface layer.

In our experiments the ordinary refractive index change reached the saturation level with the value of $\Delta n_o = 5 \cdot 10^{-4}$ after 20 seconds, and the value of $\Delta n_e = 2 \cdot 10^{-3}$ is reached after 40 seconds. As a result, the values of ordinary and extraordinary refractive index changes are ranged within $\Delta n_o = 1 \cdot 10^{-6}$–$5 \cdot 10^{-4}$ and $\Delta n_e = 1 \cdot 10^{-6}$–$2 \cdot 10^{-3}$ at the exposure duration of the $LiNbO_3$ crystal surface from 0.5 to 60 seconds during the point-by-point formation of channel waveguide structures.

Conclusion

The possibilities of forming channel waveguide structures with different values of Δn in the surface layer of a lithium niobate crystal are experimentally demonstrated. The parameters of these structures can be modulated not only by changing the distance between the exposure spots along the spatial coordinate but also by varying duration of the surface layer exposure by laser radiation. It makes it possible to set the values of refractive index changes during the channel waveguide formation. Thus, such waveguide structures are prospective both in the design of individual light control elements in photonic devices, and for coupling the active components of integrated optical circuits.

This study was carried out with the financial support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (within the task № 3.1110.2017/4.6 of the project part).

References

1. Toney J.E. Lithium niobate photonics. – Boston-London: Artech House, 2015. – 268 p.

2. Petrov M.P., Stepanov S.I., Khomenko A.V. Photorefractive Crystals in Coherent Optical Systems. – Springer Series in Optical Sciences, 2013. – 277 p.

3. Bazzan M. Optical waveguides in lithium niobate: Recent developments and applications / M. Bazzan, C. Sada // Appl. Phys. Rev. – 2015. – Vol. 2, No. 4. – P. 040603-1–040603-25.

4. Vittadello L. Photorefractive direct laser writing / L. Vittadello, A. Zaltron, N. Argiolas et al. // J. Phys. D: Appl. Phys. – 2016. – Vol. 49, No. 12. – P. 1–9.

5. Bezpaly A. D. Optically Induced Channel Waveguide Structures with Spatial Modulation of Parameters in the Surface Layer of Lithium Niobate / A.D. Bezpaly, V.M. Shandarov, A.E. Mandel et al. // Russian Physics Journal. – July 2019. – Vol. 62, No. 3. – P. 387–392.

6. Zhao J.-L. Visualizations of Light-induced Refractive Index Changes in Photorefractive Crystals Employing Digital Holography / J.-L. Zhao, P. Zhang, J.-B. Zhou et al. // Chin. Phys. Lett. – 2003. – Vol. 20, No. 10. – P. 1748–1751.

Alexander D. Bezpaly
PhD student, Department of Quantum Electronics of TUSUR
Email: id_alex@list.ru

UDC 004.934.2

D.I. Novokhrestova, E.Y. Kostyuchenko, I.A. Rahmanenko

Time normalization with using the dynamic time warping (DTW) algorithm in assessing of speech quality

The article is devoted to the temporal normalization of syllable records using the dynamic time warping (DTW) algorithm. The authors describe an attempt to apply intensity normalization and smoothing to temporal sequences of amplitude values before applying DTW. A comparison of the estimates obtained on real data (patient records) is carried out. It is concluded that DTW can be used to temporarily normalize syllables for assessing speech quality in the course of speech rehabilitation using the principle of biological feedback.
Keywords: speech quality estimation, syllables pronunciation quality, time normalization, DTW.

According to statistics [1, 2], the prevalence of oncological diseases of the organs of the speech apparatus increased in 2017 in Russia. In particular, the prevalence of oncological diseases of the oral cavity became 27.2 per 100,000 population against 26.6 in 2016. The proportion of newly diagnosed diseases in I and II stages increased; the mortality with such localization decreased (except for lungs, trachea and bronchus diseases); the number of patients admitted for treatment increased. The average age of patients with such localization of oncology is 60–63 years. Therefore, there is an urgent need for speech rehabilitation after surgical treatment of cancer. As part of rehabilitation, it is necessary to assess both the patient's speech and the dynamics of speech recovery. Currently, speech rehabilitation carried out at Cancer Research Institute, Tomsk National Research Medical Center of the Russian Academy of Sciences is based on GOST R 50840–95 «Speech transmission over various communication channels. Techniques for measurements of speech quality, intelligibility and voice identification» [3]. In the process of rehabilitation, assessment methods of syllable and phrase intelligibility are used, the bases of which are taken from the standard. The main disadvantage of these methods is the subjectivity of the resulting estimates.

As part of developing a method of automated evaluation of speech quality, there is a need in the time normalization of syllables records. A dynamic time warping (DTW) algorithm is proposed as the algorithm for time normalization.

The DTW algorithm

The DTW algorithm is designed to transform time sequences based on the search for the greatest similarity [4]. The amplitudes of sound files refer to time sequences. This algorithm was chosen because of the simplicity of its implementation, as well as the quadratic complexity of the classical algorithm. This is an important parameter in view of the need for real-time evaluation for organizing biological feedback.

DTW is based on the construction of distance matrices between all elements of the first sequence and all elements of the second sequence (matrix d of size $m*n$, where $d_{i,j}$ are the distances between the points p_i and q_i of the sequences P and Q, respectively, m is the length of the sequence P, n is the length of the sequence Q) and the construction of the deformation matrix is based on the distance matrix (matrix D of size $m*n$, where $D_{i,j}$ is determined according to (1)). The distance $d_{i,j}$ in DTW is considered to be based on the taxicab distance (2) or Euclidean distance (3) [6].

$$D_{i,j} = d_{i,j} + \min\left(D_{i-1,j}, D_{i,j-1}, D_{i-1,j-1}\right), \quad (1)$$

$$d_{i,j} = d(p_i, q_j) = \left|p_i - q_j\right|, \quad (2)$$

$$d_{i,j} = d(p_i, q_j) = (p_i - q_j)^2, \quad (3)$$

where p_i and q_i are points of the sequences P and Q, respectively.

Transformed sequences are obtained by selecting the elements of each sequence according to the indices of the elements belonging to the optimal path. Another

advantage of the algorithm is that according to the results of the algorithm, a measure of the difference between time sequences (the DTW distance) has already been calculated. It represents the value of the path based on the optimal path of transformation. The value of the DTW distance is equal to the value of the last element of the matrix *D*.

Dataset description

Variations of estimation algorithms based on DTW were previously proposed [5]. On previously studied data, smoothing and intensity normalization did not lead to an improvement in estimates. In the framework of this study, the proposed algorithms are applied to a new set of data obtained using the developed software package for assessing speech quality. The peculiarity of the new data set is that it is the records of real patients and the records of each patient have already been preprocessed by built-in algorithms. From the database, 5 people were selected with 3 recording sessions: two sessions with normal pronunciation of syllables before the operation, and a third session with distorted pronunciation after the operation. Of the sessions, syllable entries with a phoneme [k] were selected. Difference measures (DTW distance) were calculated for the pairs of syllables norm1-norm2, norm1-distortion, norm2-distortion, where norm1 is the record of the syllable of the first session, norm2 is the record of the same syllable from the second session, distortion is the record of the same syllable from the third session.

The assessment was made only for the problem phoneme, for each patient individually. The smaller the DTW distance is, the more similarly the phonemes are pronounced.

Results

The DTW algorithm has sensitivity to differences in voice intensity on records, as well as to the presence of random short-term noise. Therefore, we proposed the possibility of normalizing or smoothing the time sequence before applying the DTW algorithm. We compared the results obtained on the basis of sequences without normalization and smoothing, sequences with intensity normalization (reduction of sound intensity to a constant), smoothed on the basis of a simple moving average (6), and sequences normalized in intensity and smoothed on the basis of simple moving average.

$$\overline{y}(k) = \frac{1}{n} \sum_{t=k-\frac{n-1}{2}}^{t=k+\frac{n-1}{2}} y(t), \qquad (4)$$

where n is the size of the smoothing window (always an odd number), $y(t)$ is t-th element of the time series, $\overline{y}(k)$ is k-th element of a smoothed time series.

The use of smoothing only a simple moving average at this stage of research is justified by the fact that this smoothing has minimal algorithm complexity (linear complexity). Its use may show the need for smoothing sequences. If there is a need for smoothing, the selection of a smoothing algorithm will be a separate task.

The results for one patient are shown in Table: the average session score, the relative session score, the number of errors, and the average run time for one calculation were calculated. The size of the smoothing window n in the moving average is 15.

The use of all types of preliminary normalizations led to a significant increase in the number of errors in the calculations; therefore, it is still proposed to use the «pure» DTW algorithm without preliminary transformations.

Conclusion

The paper discusses the use of the DTW algorithm for the time transformation of records to calculate a quantitative assessment of the quality of syllable pronunciation in the process of speech rehabilitation. Applying intensity normalization and smoothing to time sequences before applying the DTW algorithm shows worse results than applying the DTW algorithm to the original sequences.

The average calculation time for one pair of records is 1 second on average, which is a good result. This processing time will allow the use of the DTW algorithm for assessing speech quality using the principle of biological feedback.

The study was performed by a grant from the Russian Science Foundation (project 16-15-00038).

Comparison of DTW algorithm results with normalization and smoothing of sequences

		Algorithm			
		DTW	DTW with intensity normalization	DTW with smoothing	DTW with intensity normalization and smoothing
Session estimates	norm1-norm2	1.01	1.78	0.204	0.308
	norm1–distortion	1.15	2.05	0.307	0.321
	norm2–distortion	1.21	1.97	0.324	0.315
	general	1.17	1.99	0.311	0.318
Session comparative estimate		0.738	0,863	0.894	0.656
Number of mistakes	norm1–distortion	7	9	11	8
	norm2–distortion	3	8	12	7
	both pair	2	7	11	5
Execution time, sec		0.87	0.95	0.93	1.05

References

1. Kaprin A.D., Starinsky V.V., Petrova G.V. Malignancies in Russia in 2017 (morbidity and mortality-ness) [Electronic resource]. – Access mode: http://www.oncology.ru/ service/statistics/malignant_tumors/2017.pdf (last accessed: 2019/04/13).

2. Kaprin A.D., Starinsky V.V., Petrova G.V. Status of cancer care the population of Russia in 2017 [Electronic resource]. – Access mode: http://www.oncology.ru/service/statistics/condition/2017.pdf (last accessed: 2019/04/13).

3. Standard GOST R 50840–95. Voice over paths of communication. Methods for assessing the quality, legibility and recognition. – M.: Publishing Standards, 1996. – 234 p.

4. Romanenko A.A. Time Series Alignment: DTW Forecasting // Machine Learning and Data Analysis. – 2001. – No. 1 [Electronic resource]. – Access mode: http://jmlda.org/papers/doc/2011/no1/Romanenko2011Dynamic.pdf (last accessed: 2019/09/20).

5. Novokhrestova D.I. Time normalization of syllables with the dynamic time warping algorithm in assessing of syllables pronunciation quality when speaking // Proceedings of TUSUR University. – 2017. – Vol. 20, No. 4. – P. 142–145. DOI: 10.21293/1818-0442-2017-20-4-142-145

Daria I. Novokhrestova
Postgraduate student, Department of Complex Information Security of Computer Systems of TUSUR
Email: ndi@fb.tusur.ru

Evgeny Y. Kostyuchenko
Associate Professor, Ph. D., Department of Complex Information Security of Computer Systems of TUSUR

Ivan A. Rahmanenko
Associate Professor, Ph. D., Department of Complex Information Security of Computer Systems of TUSUR

UDC 621.3

S.KH. Karri, R.S. Surovtsev, A.T. Gazizov, A.V. Nosov

Electrodynamic analysis of the meander delay line with two turns

Ultrashort pulses are able to penetrate into the device and damage circuit elements. Previously, a simple method of protecting equipment against such pulses using meander lines has been proposed and quasistatic simulation has been performed. This paper compares the results of quasistatic and electrodynamic simulation of a protective line. The difference in the signal maximum amplitude obtained by different approaches was 18%, which must be taken into account in practical implementation of the line.

Keywords: Electromagnetic compatibility, meander delay line, ultrashort pulse, pulse decomposition.

Radioelectronic equipment (REE) found its application in the life of modern people long ago. However, complemented by the increase of frequencies and a decrease of useful signal amplitudes, there is an acute need for its protection against electromagnetic interferences, in particular, pulses of nanosecond and picosecond ranges. Such ultrashort pulses (USP) have a short rise time, high amplitude and a wide spectrum, because of which they are able to penetrate into REE bypassing shields and protective equipment, and lead to damaging elements of a PCB. The danger of such impacts to society is caused by the possibility of their use by criminals for terrorist purposes. For example, there is a well-known incident of using an ultrashort pulse generator by Chechen fighters to block communication of the detachment which belonged to Russian Federation Ministry of Internal Affairs in 1996 [1].

There are many studies into various devices based on strip lines which are used to protect REE against ultrashort pulses and to filter signals in frequency domain [2–7]. One of remarkable approaches is based on the use of meander delay lines [8], which allows minimizing the ultrashort pulse amplitude at the output of the line without resorting to additional elements on the PCB. Meanwhile, a relatively small attenuation (6.3 times) of the interference USP was obtained in one turn of the meander microstrip line (MSL). A detailed analysis of the results suggests the possibility of a more significant attenuation of the USP amplitude in a line of two or more turns connected in cascade. Therefore, a preliminary analysis of the meander MSL with two turns was performed using the quasistatic approach, where the possibility of decomposing a USP into a sequence of 9 pulses is shown [9]. To confirm the reliability of the results obtained using the quasistatic approach, it is advisable to perform a full-wave analysis of such line to obtain more accurate and close to the real situation simulation results. Thus we can formulate the goal of this work – to perform electrodynamic simulation of the meander MSL with two turns and conduct a comparative analysis of the results with the results of the quasistatic simulation.

Input data for the simulation

The line under investigation consists of two meander turns connected in cascade with parameters from work [9]. At the beginning of the line, the first turn is connected to a pulse source, which is presented by the ideal e.m.f. source and the internal resistance $R1$. The end of the first turn is connected in series with the beginning of the second turn, and the end of the second turn – with a receiving device, which is shown in the diagram as $R2$. Fig. 4 shows the schematic of line connections.

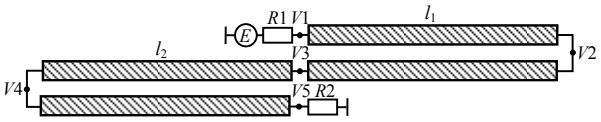


Fig. 1. Schematic diagram of the meander line

In the cross-section, each turn of the line under investigation is a coupled MSL, as shown in Fig. 2.

In the noted study [9], it was revealed that for the decomposition of a USP into 9 main pulses at the end of the line, it is necessary, first, to decompose the initial USP in the first turn to a sequence of three pulses with equal time spacing between them, and in the second

turn, each pulse from the output of the first turn also decomposes into three pulses. To do this, it is necessary to provide condition (1) in the first turn, and condition (2) in the second turn.

$$\tau_{max1}=2\cdot\tau_{min1}, \quad (1)$$

$$\tau_{max2}=3\cdot\tau_{min2}, \quad (2)$$

where $\tau_{max1,2}$ and $\tau_{min1,2}$ are the maximum and minimum values of the per-unit-length delays of the even and odd modes for the first and second turns, respectively.

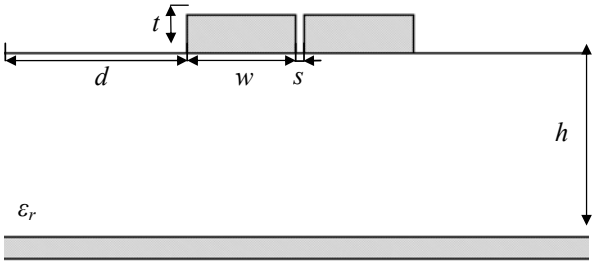


Fig. 2. Cross-section of the meander line

To ensure condition (1), it is necessary to provide the following parameters of the first turn [9]: w_1 = 100 um, t_1 = 160 um, h_1 = 200 um, s_1 = 19.78 um, ε_{r1} = 480 and the length l = 45 mm. To verify the fulfillment of this condition, we calculated the per-unit-length delays of the line even and odd modes from the expression for the symmetric case of a connected line [10]

$$\tau_{e,o}=\sqrt{\left(L_{11}C_{11}+L_{12}C_{12}\right)\pm\left(L_{12}C_{11}+L_{11}C_{12}\right)}, \quad (3)$$

where C_{11}, C_{12} and L_{11}, L_{12} are the corresponding coefficients of the linear coefficients of electrostatic and electromagnetic induction matrices, respectively (hereinafter, matrices **C** and **L**).

Matrices **C** and **L** for the first turn, calculated using the method of moments [11] are the following:

$$\mathbf{C}=\begin{bmatrix} 6755.55 & -3155.06 \\ -3155.06 & 6755.55 \end{bmatrix} \text{ pF/m},$$

$$\mathbf{L}=\begin{bmatrix} 347.23 & 289.41 \\ 289.41 & 347.23 \end{bmatrix} \text{ nH/m}.$$

By equation (3), and using the corresponding coefficients of matrices **C** and **L**, we obtained: τ_e = 47.88 ns/m, τ_o = 23.94 ns/m. Thus, condition (1) is fulfilled with a margin (47.88 ns/m = 2·23.94 ns/m).

The fulfillment of condition (2) in the second turn is ensured by the following parameters: w_2=400 μm, t_2 = 600 μm, h_2 = 200 μm, s_2 = 20.2592 μm, ε_{r2} = 120 [9]. Matrices **C** and **L** for the second turn are the following:

$$\mathbf{C}=\begin{bmatrix} 3584.72 & -1065.85 \\ -1065.85 & 3584.72 \end{bmatrix} \text{ pF/m},$$

$$\mathbf{L}=\begin{bmatrix} 163.53 & 144.97 \\ 144.97 & 163.53 \end{bmatrix} \text{ nH/m}.$$

We obtained, that τ_{e2} = 27.88 ns/m, τ_{o2} = 9.29 ns/m. Thus, condition (2) is fulfilled with a margin (27.87 ns/m = 3·9.29 ns/m).

As the impact, we chose a trapezoid-shaped pulse with an e.m.f of 1 V, the duration of the flat top of 100 ps, and rise and fall durations of 50 ps each. In simulation, we also considered two cases. In the first case, to reduce reflections at the ends of the structure, the value of $R1$ was taken equal to the geometric mean of wave resistances of the even and odd modes for the first turn ($R1 = \sqrt{Z_{e1}Z_{o1}}$ = 5.7 Ohm), and $R2$ – to the geometric mean of the same resistances but for the second turn ($R2 = \sqrt{Z_{e2}Z_{o2}}$ = 4.7 Ohm). In the second case, to ensure pseudo-matching, we considered $R1 = R2$ = = 50 Ohm.

Simulation results

Figures 3 and 4 present the waveforms at the end of the first turn without taking into account the influence of the second turn and when condition (1) is fulfilled, obtained using the quasistatic and electrodynamic approaches. Figure 3 demonstrates the case when $R1$ = 5.7 Ohm and $R2$ = 4.7 Ohm, and Figure 4 – the case when $R1 = R2$ = 50 Ohm. Figure 3 shows that the waveforms at the end of the first turn obtained using the electrodynamic and quasistatic approaches agree well qualitatively: the USP in the first turn decomposes into a sequence of pulses of lower amplitude. However, the waveforms of the first and third pulses are distorted: an extension of the rise and fall edges is observed. Meanwhile, the first pulse is almost undistorted because it is induced at the same moment as the main signal starts to propagate in the first conductor. According to the results of quasistatic simulation, the second and third pulses have delays of 2.3 ns and 4.46 ns, respectively, and according to the results of electrodynamic simulation – 2.01 ns and 4.56 ns, which can be caused by the influence of dispersion and radiation losses during electrodynamic simulation.

Furthermore, such distortions can be caused by superposition of reflected signals with negative polarity, which leads to increased pulse delays of the even and odd modes. At $R1 = R2$ = 50 Ohm (Fig. 4), the amplitudes of the first two pulses decreased both when using the electrodynamic and quasistatic approach. At that, a more significant decrease in the amplitude for the odd mode pulse is observed, which is probably caused by a change in the reflection coefficient at the end of the turn. The nature of differences between the approaches is similar to Fig. 3. The maximum USP amplitude at the end of the turn for the first case was 213 mV in the quasistatic approach and 230 mV in the electrodynamic approach. In the second case, the amplitudes were 163 mV and 116 mV for the quasistatic and electrodynamic approaches, respectively.

Figures 5 and 6 show the waveforms at the end of two turns, obtained using quasistatic and electrodynamic approaches when conditions (*1*) and (*2*) are satisfied in the first and second turns, respectively, for the same cases of matching. From the results for the first case, it can be seen that the pulses from the output of the first turn are decomposed into a sequence of pulses with lower amplitude in the second turn. The decomposition of the USP into 9 pulses is more explicit with the quasistatic approach. And with the electrodynamic approach, as before, there is a significant distortion of the pulse waveforms due to the increase in the rise and fall

edges, as well as the appearance of multiple overlapping of reflected signals, the influence of which increases due to a mismatch at the junction of turns. As for the second case (with $R1 = R2 = 50\ \Omega$), the maximum amplitude at the output of the meander MSL decreases and the decomposition pulse delays change significantly, making it almost impossible to isolate the main decomposition pulses at the end of the second turn. The maximum signal amplitude at the end of the meander MSL with two turns in the first case was 90 mV when using the quasistatic approach and 110 mV when using the electrodynamic approach. In the second case, the USP amplitude was 70 and 90 mV for the quasistatic and electrodynamic approaches, respectively.

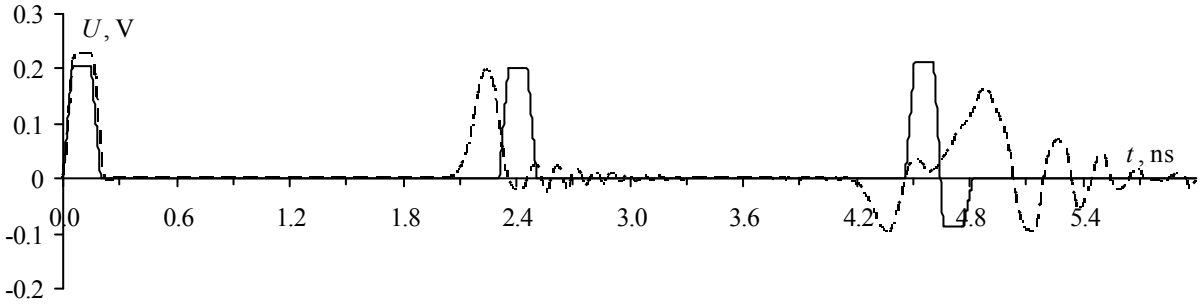


Fig. 3. Signal waveforms at the end of the first turn obtained as a result of quasistatic (——) and electrodynamic (– –) simulations when $R1$=5.7 and $R2$=4.7 Ohm

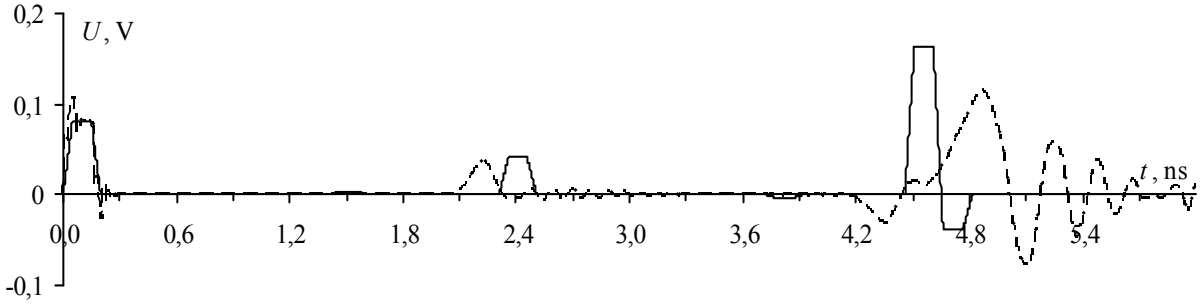


Fig. 4. Signal waveforms at the end of the first turn obtained as a result of quasistatic (——) and electrodynamic (– –) simulations when $R1$=$R2$=50 Ohm

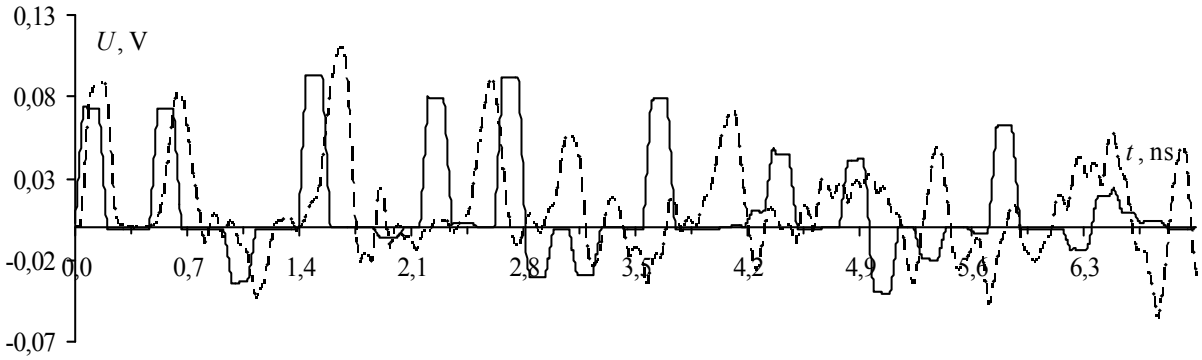


Fig. 5. Signal waveforms at the end of the second turn obtained as a result of quasistatic (——) and electrodynamic (– –) simulations when $R1$=5.7 and $R2$=4.7 Ohm

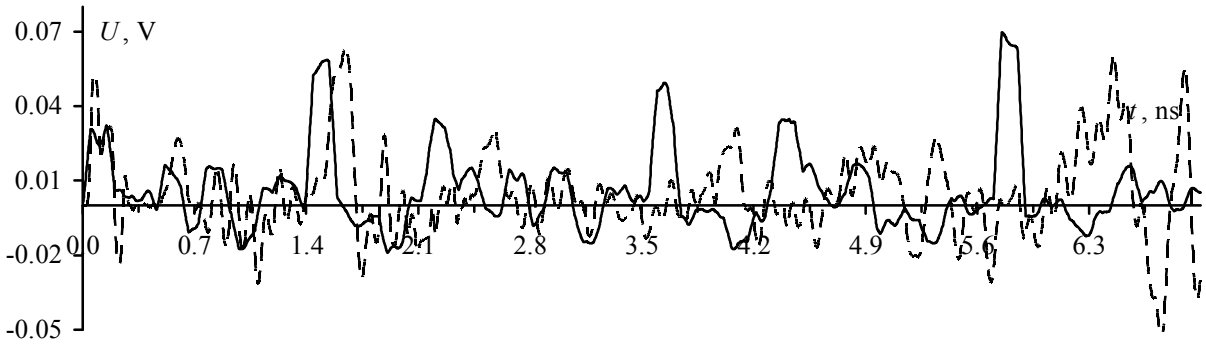


Fig. 6. Signal waveforms at the end of the second turn obtained as a result of quasistatic (——) and electrodynamic (– –) simulations when R1=R2=50 Ohm

Conclusion

The paper presents a comparative analysis of the simulation results obtained using two approaches: quasistatic and electrodynamic. An acceptable qualitative and quantitative agreement was obtained for the first case. When the internal resistance of the generator and a load equals 50 Ohm, the influence of reflections increases. It happens because of multiple overlapping of reflected signals on the main decomposition pulses, which leads to significant distortion of the amplitude shape and the decomposition pulse delay. This makes it impossible to isolate the main 9 decomposition pulses. The maximum signal amplitude at the output of the meander MSL of two turns with the electrodynamic approach was 110 mV, and with the quasistatic approach – 90 mV. Thus, the difference in the signal maximum amplitude, obtained by different approaches was 18%.

References

1. Zashchita ob"ektov toplivno-energeticheskogo kompleksa ot ugroz elektromagnitnogo vozdeystviya [Protection of the fuel and energy complex of the electromagnetic interference threat Safety of fuel and energy complex facilities] / O. Petkau, A. Tarabtsev, A. Deryabin, S. Larionov, V. Chvanov. – 2014. – P. 74–76 (in Rus.)

2. Krzikalla R. Systematic Description of the Protection Capability of Protection Elements / R. Krzikalla, J. Luiken ter Haseborg, F. Sabath // 2007 IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility. – 2007. – P. 1–4.

3. Krzikalla R. Interdigital microstrip filters as protection devices against ultrawideband pulses / R. Krzikalla, T. Weber, J. ter Haseborg // 2003 IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility. – 2003. – EMC '03.

4. Krzikalla R. Authors' Reply / T. Weber, R. Krzikalla J. ter Haseborg // IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility. – 2005 . – Vol. 47. – No. 3. – P. 672–673.

5. Weber T. Linear and Nonlinear Filters Suppressing UWB Pulses / T. Weber, R. Krzikalla, J. ter Haseborg // IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility. – 2004. – Vol. 46, No. 3. – P. 423–430.

6. Qiang Cui. Investigation of waffle structure SCR for electro-static discharge (ESD) protection / Qiang Cui, S. Dong, Y. Han // IEEE International Conference on Electron Devices and Solid State Circuit (EDSSC). – 2012. – P. 1–4.

7. ESD Protection Design Optimization Using a Mixed-Mode Simulation and Its Impact on ESD Protection Design of Power Bus Line Resistance / H. Hayashi, T. Kuroda, K. Kato, K. Fukuda, S. Baba, Y. Fukuda // International Conference On Simulation of Semiconductor Processes and Devices. – 2005. – P. 99–102.

8. Possibility of Protection Against UWB Pulses Based on a Turn of a Meander Microstrip Line / R. Surovtsev, A. Nosov, A. Zabolotsky, T. Gazizov // IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility. – 2017. – Vol. 59, No. 6. – P. 1864–1871.

9. Nosov A.V. Ultrashort Pulse Decomposition in Meander Microstrip Line of Two Turns / A.V. Nosov, R.S. Surovtsev, T.R. Gazizov // Siberian Symposium on Data Science and Engineering. – Novosibirsk Akademgorodok, Russia. – 2018. – October 30–31. – P. 79–83.

10. Regulyarnyye i neregulyarnyye mnogosvyazannyye poloskovyye struktury i ustroystva na ikh osnove: raschet pervichnykh parametrov, impul'snyye izmereniya kharakteristik [Regular and irregular multiply connected strip structures and devices based on them: calculation of primary parameters, pulse measurements of characteristics] / N.D. Malyutin, A.N. Sychev, E.S. Semenov, A.G. Loshchilov. – Tomsk: TUSUR, 2012. – 218 p.

11. Gazizov T.R. Calculation of a Capacitance Matrix for a Two-Dimensional Configuration of Conductors and Dielectrics with Orthogonal Boundaries // Russian Physics Journal. – 2004. – Vol. 47. – 326 p.

Salim K. Karri
Graduate student of TUSUR
Email: salim96@list.ru

Roman S. Surovtsev
PhD, Associate Professor, Department of Television and Control of TUSUR
Email: surovtsevrs@gmail.com

Alexander T. Gazizov
Graduate student of Tomsk Polytechnic University
Email: alexandr.bbm@gmail.com

Alexander V. Nosov
PhD, Teaching Assistant, Department of Television and Control of TUSUR
Email: alexns2094@gmail.com

UDC 621.315.02

V.N. Davydov, O.F. Zadorozhny

Using the heterostructure with staggered QWs for controlled RGB color offset

LED heterostructures with multiple quantum wells (MQWs) are created by using active material which cannot tolerate heating above 1000C and leads to quick degradation during operation. This study presents the technology of obtaining white light without the use of an active material. White light was obtained by mixing three QWs of the same thickness in one heterostructure. The rectangular quantum wells (RQW) with staggered profile are used for balancing the spectrum.

Keywords: white LED, rectangular quantum wells with staggered profile, RGB heterostructure.

Traditionally, white monochromatic radiation based on LED heterostructures with multiple quantum wells (MQWs) is created by using an active material applied to the emitting surface as an element that converts the generated radiation from a blue part of the spectrum into the white radiation [1].

High cost and the imperfect technology of applying it on the crystal is still, however, a major problem of the luminophore. The luminescent components cannot tolerate heating above 1000C, quickly degrading during operation (10% degradation of the light conversion efficiency is within after a year and a half of operation) [2].

Getting a white color with controlled RGB color mixing

The proposed method is based on the possibility to obtain a white color by mixing red (R), green (G) and blue (B) colors. To obtain them on a heterostructure with MQWs we used three layers of $In_xGa_{1-x}N$ with different concentration levels of indium as an alternative to a QW. Barrier layers of a large thickness separated each QW (Fig. 1).

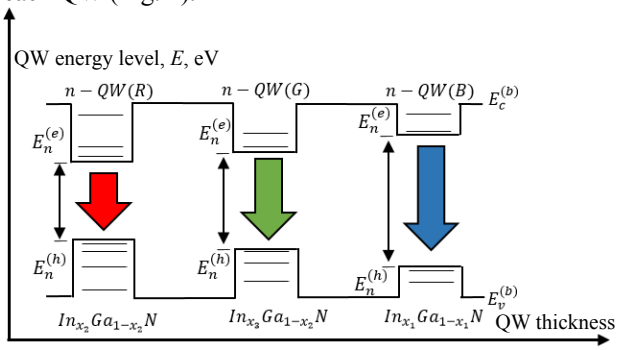


Fig. 1. Energy diagram of the RGB heterostructure

A special feature of the topology in this color triad is the use of three QWs of the same thickness in one heterostructure to generate three colors. The necessary band gap in each well during the growth of the QW layers is achieved by setting doping levels of GaN with indium. The required percentage of indium in the gas medium of the MBE reactor during the cultivation of the quantum well is calculated according to the given formula (1) (in eV):

$$\Delta E_g^{(Q)}(x) = 3.40 - 2.63 \cdot x\,. \qquad (1)$$

The value of the energy gap for radiative recombination in each well is greater than the band gap of the QW and is the following: to produce a red color $\Delta E^{(1)} \equiv 1.94$ eV ; a green QW $\Delta E^{(2)} \equiv 2.25$ eV ; and for the QW generating a blue color $\Delta E^{(3)} \equiv 2.75$ eV . The difference in dimension values of $\Delta E_g^{(к)}(x)$ and $\Delta E^{(к)}(x)$ is due to the fact that the radiative recombination comes predominantly between the first levels of size quantization for electrons:

$$E_1^{(n)}(x) = \hbar^2\pi^2 / 2a^2 m_n^*(x)\,,$$

and for holes:

$$E_1^{(p)}(x) = \hbar^2\pi^2 / 2a^2 m_p^*(x)\,.$$

Their energies depend on the effective masses of charge carriers, which, in turn, depend on x in accordance with linear law

$$m_n^*(x) = m_n^*(\text{GaN}) - \left[m_n^*(\text{GaN}) - m_n^*(\text{InN})\right]\cdot x =$$
$$= (0.20 - 0.09\cdot x)\cdot m_0;$$
$$m_p^*(x) = m_p^*(\text{GaN}) - \left[m_p^*(\text{GaN}) - m_p^*(\text{InN})\right]\cdot x =$$
$$= (0.80 + 0.83\cdot x)\cdot m_0.$$

Then, the exact formula for calculating the required x value for finding the required wavelength of the generated radiation of the k-th QW is as follows:

$$\Delta E_g^{(кя)}(\text{эВ}) = \left(\frac{hc}{q\lambda_к}\right) - \frac{\hbar^2\pi^2}{2qa^2}\left(\frac{1}{m_n^*(x_к)} + \frac{1}{m_p^*(x_к)}\right) = 3.40 - 2.63\cdot x_k\,. \quad (2)$$

Here, $\Delta E_g^{(QW)}(\text{eV})$ is the band gap of the quantum well substance for a given wavelength λ_R. It is not difficult to see that an attempt to solve the equation (2) with respect to the variable x_k would lead to an equation of the third degree, which is undesirable. To make it easier, this equality can be solved graphically, for which we denote the left and right-hand side of equality (3):

$$Y_1(x) = \left(\frac{hc}{q\lambda_к}\right) - \frac{\hbar^2\pi^2}{2qa^2}\left(\frac{1}{m_n^*(x)} + \frac{1}{m_p^*(x)}\right); \qquad (3)$$
$$Y_2(x) = 3.40 - 2.63\cdot x.$$

Then the upper equality (3) will be a hyperbola and the lower one will be a straight line starting from the origin. In addition to the described above, the argument in the equality can take values in the range from none to one. The solution of these equations for a given value of k = 1, 2, 3 will be the intersection point of the equality $Y_1(x)$ and $Y_2(x)$ (Fig.2).

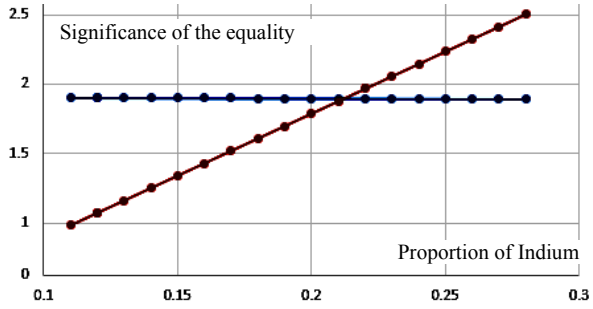


Fig. 2. Graphic solution of the equality (3)

However, the expected drawback of this method for producing white color is the inhomogeneous radiation intensity of different wavelengths created by quantum wells.

RGB colors balancing

QWs with a staggered profile have a denser energy spectrum than a single well of the same depth and thickness [1], which in theory allows balancing the spectrum of «lose» colors and achieving high efficiency in converting electric current into radiation for a white LED, which is used for controlled RGB color mixing.

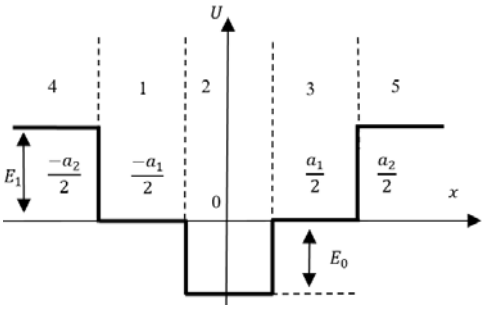


Fig. 3. Staggered QW model with two RQWs

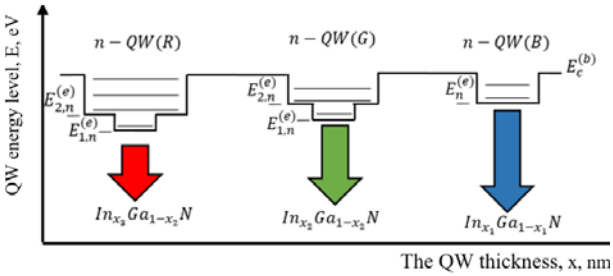


Fig. 4. Energy diagram of the RGB heterostructure with combined QWs

The QW with a staggered profile is used for QWs emitting light at the green and red wavelengths since it is assumed that these wavelengths will be «losers». In order to precisely set the dimensions of the combined profile of the quantum well, so as to balance the mixing of RGB colors, it is necessary to take the spectral characteristics of the radiation from a heterostructure with multiple rectangular QWs grown according to the given parameters.

Based on the results obtained, it is possible to determine how much the emission spectra of each wavelength differ from each other, thereby determining the parameters of the future RGB heterostructure with combined QWs, which provide the desired balance of RGB colors. The difference in the spectrum distribution depends on various factors, ranging from the choice of QW material (the use of indium (In) leads to certain difficulties in the production of QWs emitting light at a wavelength of 650 nm) to incidental defects obtained at the stage of growing the material [2]. For this reason, there can be many options for implementing such structure, but in the framework of this work, in order to clearly show how the profile of an RGB heterostructure with combined QWs looks, we use some average parameter for «lose» colors. As a result, we obtain the following structure (Fig. 4).

Conclusion

The method of obtaining white color by controlling the mixing of the RGB colors triad along with a combined profile of a quantum well, which has a denser energy spectrum, allows creating more durable and cheaper white LEDs that do not need phosphor coatings.

Ministry of Education and Science of the Russian Federation supported this work in a project RFMEFI57717X0266.

References

1. Martinez-Duart DM World of Materials and Technologies // Nanotechnologies for micro- and optoelectronics. – 2007. – 368 p.

2. Schubert F. LEDs. – M.: Fizmatlit. – 2008.

Valerii N. Davydov
Dr. of Engineering, Prof.,
Department of Electronic Devices, TUSUR
Email: dvn@fet.tusur.ru

Oleg F. Zadorozhny
PhD student, Department of Electronic Devices, TUSUR
Email: Oleg9300@mail.ru

UDC 621.316.9

A. Alhaj Hasan

Review of the use and current status of UAV technology and their capabilities

The speedy development of technology over the past ten years has allowed drones to become an important part in different sides of our life. Drones are becoming smaller, smarter and cheaper to manufacture. The market for civilian drones is growing rapidly. Thus, they have reached a level at which we can consider them as a threat. If at the beginning of their «career», drones performed auxiliary functions of reconnaissance, today they are an independent striking force, which can cause a lot of trouble, especially if they have the potential to perform dangerous, malicious, or unwanted acts. That includes the devices intended to carry out hostile missions, operated by an unsafe individual, or used for crossing into a sensitive area. This paper is aimed at identifying the drones and their current technology status, and at making a point on how these vehicles represent a threat to our life in different ways and aspects.
Keywords: technology, drones, unmanned aerial systems.

Drones or the low, slow, and small (LSS) unmanned aerial systems/vehicles (UAS or UAV) have spread very widely all over the world (Fig. 1). The easy way of obtaining commercial drones has caused an explosion in the use of these devices by private citizens. It has contributed to the development of new ways to use

UASs, from fighting forest fires and assisting search-and-rescue missions to racing for sport and delivering packages. An obvious benefit to society from these developments can be used to gain efficiencies and to contribute to the public good. Actually, as noted by Paul Scharre [2], «uninhabited systems can not only save human lives by undertaking dangerous missions in their place, they can enable new concepts of operation that would not be possible were human lives at risk» [3].

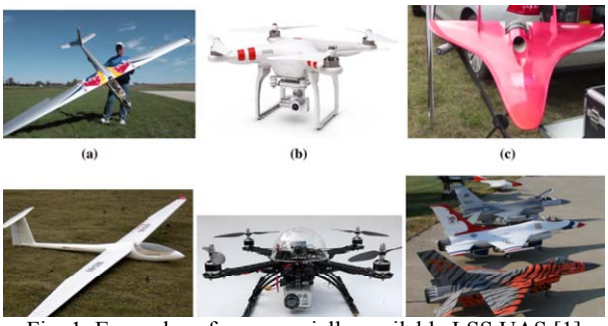


Fig. 1. Examples of commercially available LSS UAS [1]

To get a general understanding about the commercial UASs and their capabilities, you can see Table 1 [4].

Table 1

Commercial UASs and their capabilities[4]

Model	Weight (kg)	Payload (kg)	Flight time (mins)	Range (m)	Max speed (mph)	Camera (y/n–mp)	Operating conditions	Price (£)
Parrot BeeBop	0.4	0	12	250	29	Yes-14	Dry conditions only	700–900
Blade 350 QX2	1	0.2	10	1000	32	Yes	Dry conditions only	200–300
3Dr IRIS+	0.9	0.2	16	800-1000	40	Yes	Dry conditions only	500–600
DJI Phantom 2 Vision +	1.2	0.2	25	600	33	Yes-14	Dry conditions only	800–1200
DJI Phantom 3 Professional	1.2	0.3	28	1900	35	Yes-12	Dry conditions only	1000–1200
Walkera Scout X4	1.7	0.5–1.0	25	1200	40–50	Yes	Dry conditions only	700–900
Yuneec Q500 Typhoon	1.1	0.5	25	600	54	Yes-12	Dry conditions only	900–1100
Sky jib-X4 XL Ti-QR	15	7.5	15	3000–25000	24	Yes	Wind	7500–8000
Altura Zenith ZTX8	3.1	2.9	45	1000	44	Yes	Light rain / snow	15000 – 20000
Micro-Drones MD4-1000	2.65	1.2	88	5000	26	Yes	Light rain / snow	20000 – 30000

In order to categorize UASs, the NATO industrial advisory group (NIAG) report defines them based on their mass and the typical capabilities that are associated with each class, as shown in Table 2. Class I includes anything under 150 kg, while class II extends to the larger types between 150 and 600 kg. This upper class is generally restricted to military aircraft for now [5].

Table 2

Classification of drone types according to the values which are taken from the NATO LSS UAS detection report [5, 6]

Class (kg)	Category (kg)	Operating Altitude (AGL) (m)	Mission Radius (km)	Payload (kg)
Class I < 150	Micro < 2	To 90	5	0.2–0.5
Class I < 150	Mini 2–20	To 900	25	0.5–10
Class I < 150	Small <150	To 1500	50–100	5–50
Class II 150–600	Tactical	To 3000	200	25–200
Class III > 600	MALE OR HALE [7]	Several-thousands Kms		>200

Now, we can say that there are 21,000 confirmed unmanned aircraft currently in service around the world, though the actual number is likely to be more than 30,000, and the number of countries operating military drones of any kind has increased by an estimated 58 percent in the past decade, and 95 countries are believed to have an active inventory. Among these countries currently, eighty-five countries operate Class I UAVs, 44 countries operate Class II UAVs, and 31 countries operate Class III UAVs. Of the 95 countries with an active inventory, 49 countries operate at least one from two or more classes, while 18 countries operate at least one drone from each class [6].

But the more important is not the operating but the developing of drones; at least 24 countries are currently developing new military unmanned aircraft. These projects include 10 Class I systems, 12 Class II systems, and 36 Class III systems. At least seven countries are exploring potential designs for next-generation drones, including stealthy aircraft (U.S., China, Russia, and France), high-altitude pseudo-satellites (U.S., China, U.K.), swarms (U.S., China, U.K.), and manned-unmanned teaming systems (Australia, Japan, U.K., China, and the U.S.). People's Republic of China appears to have the most active drone development programs of any country, with at least 11 parallel projects underway as of this writing [6].

The hobbyist drones have only recently exploded in popularity while military-support drones have been in use since the early 1960s (Fig. 2). For example, between 2011 and 2013, SZ DJI Technology Co., the largest manufacturer of hobbyist drones, saw an almost 3,000 percent increase in annual revenue – to $130 million – and reached $500 million in 2014 [8].

Continuing this pattern of growth, as sales of hobbyist drones continue to increase, we are likely to see an attendant reduction in cost and increase in drone capabilities. These developments will in turn grant individuals unprecedented access to highly advanced technolo-

gies [8]. The growth was also remarkable in the military spending on drones. A preliminary review of the US Department of Defense's (DOD) budget request for financial year (FY) 2019, finds approximately $9.39 billion in drone-related procurement, research and development, and construction funding, which is 26 percent more than for the FY 2018 request (Tab. 3) [10].

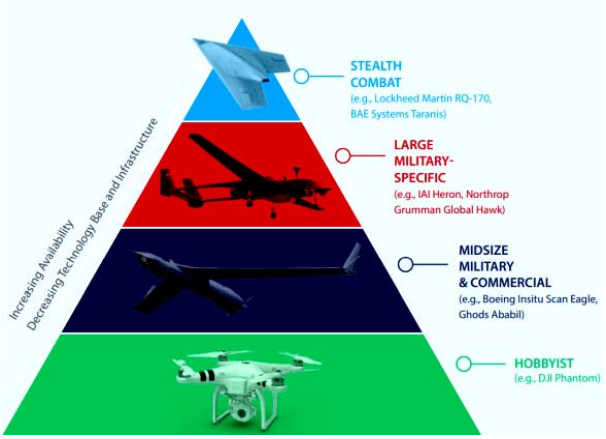


Fig. 2. Proliferation of Drones [8, 9]

Table 3

Estimated drone spending in USA-FY 2019 [10]

Spending by Department	*$ millions*
Air Force	2,636
Navy and Marines	3,766
Army	1,701
Defense Wide	1,287
Spending by Category	*$ millions*
Air	6,045
Ground	429
Sea	982
Counter-Drone	1,052
Autonomy, Teaming, Swarms	866
Other	16
Total	9,390

Their ability to deliver strikes against hard targets relatively cheaply and with impressive endurance and covert intelligence, allowing them to remain on station providing continuous support for many hours at a time, has made them the weapon of choice for many militaries using them in counterinsurgency and low-intensity conflicts, especially in the Middle East [11]. By taking the advantage of the hole in the market, China, in particular, has become an increasingly influential player. The US is trying to maintain its dominant and exclusive role in the field by implementing a selective export policy on drones. Alternatively, over the past few years, China has supplied armed drones to several countries that are not authorized to purchase them from the US, and at a dramatically cheaper price [11, 12].

Nowadays, the number of countries that make up a second generation of armed drone producers and operators [13] is noticeable. Till now, Russia's indigenous systems has been primarily comprised of small, micro-tactical, and surveillance UAVs, such as the Eleron and Orlan series, the Navodchik-2, the Korsar, the Granat, and vertical take-off rotary wing drones such as the VRT300. Recently, a 'heavy' stealth drone similar to the American X-47B, called the Okhotnik, is being developed by Sukhoi, a major Russian arms producer, and is expected to enter into service in 2020 [14].

There are so many factors playing a huge role in developing the drones. Size, weight, and power are critical to any technological system and advances in these fields are unavoidable. The last developments in wireless power transfer are already reaching greater distances; alternative fuel options are being explored by a number of companies. Boeing, for example, is investing in the development of hydrogen engines, whereas others, like the Solar Eagle and Zephyr (both by QinetiQ, UK), have turned to integrating solar energy sources into their systems.

Also, there are plans to produce a solar powered Vulture drone, which would, in theory, be able to operate for a period of five years without interruption. Conventional mid-air refueling, as practiced by manned aircraft, is now executed by prototype drones [14]. Material science developments, such as graphene, carbon nano-tubes, molecular glue, metal foam and aerogel, are all likely to impact future developments in drone manufacturing as well. Making use of cutting edge materials science, drones are likely to become lighter, yet stronger, and will benefit from meta-materials that facilitate sub-wavelength imaging, for example, for greater stealth capabilities. Due to the continuous decrease in the cost of 3D-printing, the materials for manufacturing components will become more varied, allowing for a greater range of components to be built to higher specifications [14].

There are already a considerable number of open source software and hardware tools available on the Internet and, sometimes, for free, for developing the drones, which include autonomous flight technologies (Paparazzi drone), autopilot software with advanced data-logging, analysis and simulation tools (ArduPilot), multicopter stabilization technologies (LibrePilot), imagery mapping (OpenDroneMap), and smartphone integration software (Flone). The amateur users will continue to build viable combat drones and develop alternative methods to solve military problems, while the big commercial producers and militaries will expectedly maintain a tight hold on the most advanced and capable software and hardware technologies.

Drones provide a number of benefits but they can also be used by terrorist entities in five primary ways: for surveillance; for strategic communications; for smuggling or transporting materiel; for disrupting events or complementing other activities; and as a weapon. The last includes instances of a drone being piloted directly to a target, a weapon being directly mounted on a drone, and a drone delivering explosives [3]. UASs can also be modified to drop an explosive over a target, such as a VIP gathering or a stadium full of people.

When using a drone equipped with GPS navigation and video feed, this type of device could effectively and accurately deliver a pernicious payload on any desired target [15]. Terrorists' interest in drones is anything but

new. While terror groups' interest in and use of drones has become more frequent over the last decade, especially as commercially available variants of drones have become more popular, sophisticated and accessible, the first documented terror case occurred more than two decades ago, when the Japanese apocalyptic group Aum Shinrikyo considered using a drone to distribute sarin gas [3]. As Michael Horowitz's adoption-capacity theory of the diffusion of major military innovations predicts, a reduction in the cost per unit of a technology and an increase in the commercial applications of that technology is likely to be accompanied by an enhanced rate of adoption [16].

The use of a single UAS by terrorists remains a threat, while the use of a group of drones, or an autonomous swarm, by terrorist entities has not yet been observed; the use of more and more advanced drones is likely to enhance the range and seriousness of the threat [3].

In 2018 the Russian military disabled a number of drones in a coordinated attack against two of its military installations. Some of them were destroyed by the Pantsir ZRPK, and some were neutralized using undisclosed electronic warfare measures. Though the offensive was ultimately unsuccessful, it demonstrated the growing sophistication of the unmanned aircraft that are increasingly finding their way into war zones across the globe [17]. The second incident occurred in London, when two drones blocked the operation of Gatwick Airport for a day. They had to cancel more than a thousand flights and the owners of the drones were never found. The British Ministry of Defense after this incident promised to allocate about 2 million pounds for the fight against UAVs. The market for counter-drone solutions is growing. The US counter-drone budget rose from $528.8 million in the FY 2018 request to $1.05 billion in the FY 2019 proposal, $468.8 million in procurement and $583.9 in research and development [10].

Drones in civilian airspace aren't required to carry transponders, so they cannot be detected and tracked with existing air traffic control systems. Relying on visual observation to detect drones is equally ineffective; at a distance of several hundred feet, drones can become all but invisible to the naked eye. Military radars are mostly designed to detect large, fast moving objects. As a result, they cannot always pick up LSS flying drones. Since UASs are cheap, it is impractical to use traditional air defense weapons, which can cost hundreds of thousands of dollars per unit, to shoot them down. Obviously, we need new specialized devices and methods of struggle [18].

Conclusion

As mentioned in [9] the future we want is not always the future that we will be lucky enough to have. Although drones were made as an entertainment accessory, they represent a threat to our life, security and privacy when they fall into to the wrong hands. This paper has made a point on their wide use and evolution, and the importance of doing more research into effective methods to secure ourselves against drones' threat.

The reported study was funded by Russian Science Foundation (project № 19-19-00424) in TUSUR University.

References

1. Technology Today, Raytheon's Proven High-Tech Military Defense Systems Go Commercial.Raytheon, 2007. – https://www.raytheon.com/sites/default/files/news/rtnwcm/groups/public/documents/content/rtn08_tech_homesecurity_pdf1.pdf

2. Scharre P. Robotics on the Battlefield. Part 1: Range, Persistence and Daring. Center for a New American Security, May 2014. – P. 27.

3. Rassler D. Remotely Piloted Innovation: Terrorism, Drones, and Supportive Technology. Combating Terrorism Center at West Point, 20 October2018, https://ctc.usma.edu/app/ uploads/2016/10/Drones-Report.pdf

4. Abbott C. Hostile Drones: the Hostile Use of Drones against British Targets / Remote Control Project, January 2016. – P. 5.3. – http://statewatch.org/news/2016/jan/uk-org-hostile-use-of-drones-jan-2016.pdf

5. Gabriel C., John C. Griffin, and Matthew K. Erdman,. UAS Detection, Classification, and Neutralization: Market Survey. Sandia National Laboratories, 2015. – https://www.prod.sandia.gov/techlib/accesscontrol.cgi/2015/156365.pdf

6. Gettinger D. The drone data book. Center for the Study of the Drone, 2019. – https://dronecenter.bard.edu/files/2019/10/CSD-Drone-Databook-Web.pdf

7. Polle J. MALE-Drone Proliferation in Europe: Assessing the Status Quo Regarding Acquisition, Research and Development, and Employment. Interdisciplinary Research Group on Disarmament, 2018. – https://ifsh.de/fileIFAR/pdf_english/Polle_MALE-Drone_Proliferation_in_Europe.pdf

8. Sayler K. A World of Proliferated Drones: A Technology Primer. Center for a New American Security, 2015.

9. Horowitz M.C., Fuhrmann M. Droning on: Explaining the Proliferation of Unmanned Aerial Vehicles. – October 24, 2014. http://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=2514339

10. Michel A.H. The Fiscal Year 2019 Defense Budget. Center for the Study of the Drone, 2018. – https://dronecenter.bard.edu/files/2018/04/CSD-Drone-Spending-FY19-Web-1.pdf

11. Tabrizi A.B., Bronk J. Armed Drones in the Middle East: Proliferation and Norms in the Region. Royal United Services Institute, 2018. – https://rusi.org/sites/default/files/20181207_armed_drones_middle_east_web.pdf

12. Weinberger S. China Has Already Won the Drone Wars. Foreign Policy, 10 May 2018.

13. Frew J. Drone Wars: The Next Generation. Drone Wars UK, May 2018. – https://dronewarsuk.files.wordpress.com/2018/05/dw-nextgeneration-web.pdf

14. Zwijnenburg W., Postma F. Unmanned Ambitions: Security implications of growing proliferation in emerging military drone markets. PAX, July 2018. – https://www.paxforpeace.nl/publications/all-publications/unmanned-ambitions

15. Keagle J.M., Cahall B.A. Attack of the drones: Unmanned aerial vehicles as an instruments of war. – http://www.afahc.ro/ro/afases/2011/uav/KEAGLE_CAHALL.pdf

16. Horowitz M. The Diffusion of Military Power: Causes and Consequences for International Politics. – Princeton University Press, 2010. –P. 9–11.

17. Daniels J. CNBC, January 12, 2018. – https://www.cnbc.com/2018/01/12/russia-says-it-eliminated-rebels-behind-swarm-drone-attack-in-syria.html.

18. Michel A.H. Counter-drones systems. Center for the Study of the Drone, 2018. – https://dronecenter.bard.edu/files/2018/02/CSD-Counter-Drone-Systems-Report.pdf

Alhaj Hasan Adnan
Postgradute student, Department of Television and Control, TUSUR
E-mail: alhaj.hasan.adnan@yandex.ru

UDC 621.316.9

A. Alhaj Hasan

Review of the counter-drone systems and their efficiency against the UAV technology

Drones technology is not always a friendly technology, it might be a threat. These threats must be dealt with by security systems. Although with all the advancing technology nowadays, there is no fully effective defense system, where the type and extent of mitigation techniques depend on the environment and situation. Besides the effectiveness issue, there is the fact that the drone technology itself is not standing still. The counter-drones market will therefore have to constantly respond to new advances in drone's technology. There are no standards for insuring the performance and reliability of the C-UAS system so they might present a public safety threat like interference with emergency radio communications, or like missing the intended target by a kinetic system. So this paper is aimed at making a point on the anti-drones techniques and their efficiency and the most effective systems – the high power electromagnetic systems.
Keywords: technology, drones, unmanned aerial systems, counter-drones.

Counter-drone technology, also known as counter–unmanned aerial systems/vehicles, C-UAS or C-UAV technology, refers to systems that are used to detect and/or intercept UAS. As the potential security threats of drones to both civilian and military entities are growing, a new market is rapidly emerging for the counter-drone technology. To date, there have been at least 235 counter-drone products either on the market or under active development (Tab. 1) [1]. In a response to the growing interest in counter-drone weapons, a number of large defense firms are marketing existing products for counter-drone use. For example, Raytheon claims that its C-RAM air defense system, which is traditionally used to defend against mortars and other projectiles, is equally effective against slow-moving unmanned aircraft [2]. Also, the Russian enterprises are betting on electromagnetic suppression systems that help detect malicious drones, identify and disable them [1].

Table 1

C-UAS products [1]

Number of C-UAS products	235
Number of manufacturers	155
Systems capable of detection only	88
Systems capable of interdiction only	80
Systems capable of both detection and interdiction	67

Electronic identification is an alternative form of «counter-drone» technology, which allows one to remotely access information such as the exact location, model type, operator name, and registration number of the drones operating nearby. It is possible to use this information to establish whether a drone presents an immediate threat – something that traditional C-UAS systems cannot do. As in case if a drone is operated by a major broadcasting network, it is not a threat, probably. These systems could also provide users with the exact location of a drone's pilot, unlike many existing C-UAS products, which only locate the drone. AeroScope is an electronic ID system unveiled by the Chinese drone maker DJI, and it is likely that the other manufacturers are in the way to make their own systems. The problem of these systems is that they will only work on drones made by manufacturers that have willingly provided their communications protocol to the system manufacturer [3].

Many countries started to train large birds to catch drones in mid-flight, in an entirely different approach to C-UAS. According to one of these firms, the eagles which wear protective shin-guards in order to shield their legs from the drone's rotors have a 95-percent intercept rate, which is likely higher than many mechanical kinetic alternatives. For maximum effectiveness, it is advised to operate a secondary C-UAS system in tandem with eagles [1].

Different C-UAS systems rely on a variety of techniques for detecting and/or intercepting drones. The following tables describe the main detection (Tab. 2) and interdiction (Tab. 3) methods employed by products currently available on the market, as well as the classification of the C-UAS (Tab. 4) according to their platform [1].

Table 2

Detection and Tracking Systems [1]

Radar	Detects the presence of small unmanned aircraft by their radar signature, which is generated when the aircraft encounters RF pulses emitted by the detection element. These systems often employ algorithms to distinguish between drones and other small, low-flying objects, such as birds
Radio-frequency (RF)	Identifies the presence of drones by scanning for the frequencies on which most drones are known to operate. Algorithms pick out and geolocate RF-emitting devices in the area that are likely to be drones
Electro-Optical (EO)	Detects drones based on their visual signature
Infrared (IR)	Detects drones based on their heat signature
Acoustic	Detects drones by recognizing the unique sounds produced by their motors. Acoustic systems rely on a library of sounds produced by known drones, which are then matched to sounds detected in the operating environment
Combined Sensors	Many systems integrate a variety of different sensor types in order to provide a more robust detection capability. For example, a system might include an acoustic sensor that cues an optical camera when it detects a potential drone in the vicinity. The use of multiple detection elements may also be intended to increase the probability of a successful detection, given that no individual detection method is entirely fail proof

Table 3

Interdiction [1]

RF Jamming	Disrupts the radio frequency link between the drone and its operator by generating large volumes of RF output. Once the RF link, which can include WiFi links, is severed, a drone will either descend to the ground or initiate a «return to home» maneuver
GNSS Jamming	Disrupts the drone's satellite link, such as GPS or GLONASS, which is used for navigation. Drones that lose their satellite link will hover in place, land, or return to home
Spoofing	Allows one to take control of the targeted drone by hijacking the drone's communications link. (Also known as protocol manipulation)
Laser	Destroys vital segments of the drone's airframe using directed energy, causing it to crash to the ground
Nets	Designed to entangle the targeted drone and/or its rotors
Projectile	Employs regular or custom-designed ammunition to destroy incoming unmanned aircraft
Combined Interdiction Elements	A number of C-UAS systems also employ a combination of interdiction elements: most commonly, RF and GNSS jamming systems that work in tandem

Table 4

Platform types [1]

Ground-based	Systems designed to be used from either stationary or mobile positions on the ground. This category includes systems installed on fixed sites, mobile systems, and systems mounted on ground vehicles
Hand-held	Systems that are designed to be operated by a single individual by hand. Many of these systems resemble rifles or other small arms
UAV-based	Systems designed to be mounted on drones, which can come into proximity with the targeted unmanned aircraft in order to employ interdiction elements at close range

Table 5

C-UAS interdiction methods [1]

Jamming (RF, GNSS, or Both)	96
Net	18
Spoofing	12
Laser	12
Machine Gun	3
Electromagnetic Pulse	2
Water Projector	1
Sacrificial Collision Drone	1
Other	6

Table 6

Market survey-detection/classification [4]

System Name	Modality	Range	Notes
Falcon Shield	Radar/Optical/ (Unknown)	Unknown	Used at 2012 Summer Olympics
Liteye	Radar/Optical/ Jamming	Up to 6 Km	
SRC	Radar/Optical/ Jamming	Up to 50 Km	Used at 2012 Summer Olympics, G8 Summit, and US Marine Corp.
DeTect	Radar	3 Km for Styrofoam UAS	Machine learning capability

There are a lot of challenges that face the counter-drone systems at the level of performance, practicality, legality, and policy. These issues are important to consider hoping to use the technology. They are also important to those seeking to establish the role that the technology could play in the broader integration of drones into the airspace system [1]. Danger is the most obvious drawback of kinetic counter-drone systems like missiles, rockets or bullets. Even less risky commercial options (Tab. 5) which include nonlethal projectile weapons that fire blunt force rounds, such as bean bags or rubber bullets, or small portable net guns that can ensnare drones, or laser systems or net guns, may not successfully destroy a hostile drone and require line of sight. By interrupting the drones during their flight by physical means, they will fall down at a considerable speed. Even the net-based systems with a parachute to bring the drone down in a safety way are risky, so the kinetic interdiction systems are likely to be inappropriate for civilian safety [5].

All of the detection systems have drawbacks. It is hard sometimes to detect drones by radar, and the electro-optical systems may confuse a drone with a bird or an airplane and they can only operate during daytime, and EO and IR systems, as well as certain RF systems, must have a direct line of sight with the drone [1]. Acoustic systems might be deaf to some drones because sensors rely on a library of sounds emitted by known drones. As for RF detection systems, they can only detect certain frequency bands in their library which needs to be regularly updated, and with the speedy proliferating of the drones, the libraries will never cover 100 percent of all the drones. As a result, the systems that are not sensitive enough might generate false negatives, which is not desirable from the operator's standpoint [1]. Moreover, jamming systems can also interfere with the legitimate communications links nearside; so the airports are not advised to use the jammers since they can interrupt air traffic management operations [6].

A new technology started to emerge on the market as advanced jamming systems that only block the frequency on which the targeted drone is operating, as well as directed jamming antennas, which may reduce interference with legitimate communications, but it has not yet been certified entirely safe [1]. This is not all the problems in the non-kinetic systems. RF jamming depends on disrupting the drone's communications link with the operator, but it is possible to program some drones to operate autonomously without an active RF link, or to operate in GPS-denied environments, which makes the GNSS jamming systems useless [7]. Technically it is very difficult to build and implement the spoofing systems, and they might be not effective against drones that have been built with protected communication links. In general, all electronic warfare tactics are subject to countermeasures which may make them ineffective [1].

There are some of the detection and interdiction systems used in new counter-drone systems, which, in fact, are based on existing products. For example, the Babcock's LDEW-CD system incorporates the Raytheon's Phalanx unit. Some radars and jamming units are likewise derived from existing products (Table 6),

and are just repackaged as counter-drone systems [1]. International standards for the proper design and use of C-UAS systems are absent, which raises questions about the safety of these systems [1]. In Table 7, there are C-UAS known in Russia, and the most interesting systems in Germany.

Electronic C-UAS, which are also known as electronic counter measures (ECM), high power microwave (HPM), and high power electromagnetic weapons (HPEW) are designed to transmit electromagnetic signals somewhere in the frequency range from 10 kHz up to several GHz. The power levels range from several watts up to gigawatts, depending on the technology. ECM is mostly dedicated to interfering with any RF receiver. The vulnerable systems are the avionics systems (e.g. altimeters), data and command links, SAR and D/GMTI radar, commercial mobile telephony, personal mobile radios (AM/FM), and global positioning systems (GPS). Their goal is to prevent successful reception or transmission of data [11].

The commercial ECM is similar to a cyber style attack as it aims to exploit information contained within the data-link, but in this case the time durations of such attacks must be considered, especially in case of an intelligent attack strategy using a swarm attack, where isolating individual targets may be too difficult. It might be difficult also to penetrate altimeters because they are more likely to be used by nation organizations. As already mentioned, personal communication devices are very vulnerable to simple jamming techniques but this will likely interfere with any civilian or friendly systems nearby. Due to the weakness of GPS signals, GPS ECM consisting of jamming or spoofing (which is noted as more effective but also more difficult) is simple, and there are available protection techniques to amplify the satellite signal and attenuate it in the direction of the jamming signal. As a result, ECM technologies are effective only against low-cost consumer grade low, slow, and small drone's threats [11].

As the last barrier of defense, kinetic counter-drone systems capable of destroying hostile drones can be deployed against drones that still represent a threat despite non-kinetic systems being employed by blocking the controller frequency and GPS [5].

Theoretically, the HPEM can be very effective, with effects ranging from temporary disruption to physical destruction of unprotected electronics. There are also many external factors which influence this method's effectiveness, such as the electric field strength in the target area, the frequency, and the target shielding capabilities. Unlike the previous systems and methods, this mitigation strategy has low directivity and thus has an advantage as it does not need tracking or precise target location, but of course, the low directivity also means that it will likely affect the other friendly systems if left unprotected. There is no public data available for the operational range for this strategy and it has never been included in the Ground Based Air Defense (GBAD) systems [11].

Table 7

Counter-UAS products

Manufacturer	Product Name	Country	Detection	Interdiction	Platform
Kalashnikov/ZALA Aero Group	REX 1	Russia	Without	RF Jamming, GNSS Jamming	Handheld
LocMas	STUPOR	Russia	Unknown	RF Jamming, GNSS Jamming	Handheld
NNIIRT	1L121-E	Russia	Radar		Ground-based
Rostec	Shipovnik-Aero	Russia	RF, Unknown	RF Jamming, GNSS Jamming	Ground-based
SC Scientific and Technical Center of Electronic Warfare	Repellent-1	Russia	RF	RF Jamming	Ground-based
esc Aerospace [8]	CUAS	Germany	RF, Radar, Acoustic, EO	RF Jamming, GNSS Jamming, Electromagnetical pulse	Ground-based
Diehl Defence [9]	HPEM counterUAS GUARDION [10]	Germany	Unknown	Electromagnetic pulse	Ground-based

Table 8

Counter-UAS products.

Product name	Company	Weight	Applied temperature C	Analog Signal Suppression Radius	SNS suppression radius	Interfering at frequencies	Uptime
REX-1	ZALA AERO GROUP Unmanned Systems	4.5 kg	– 40 to + 50	0.5 km	2 km	900 MHz, 2.4, 5.2–5.8 GHz	3 hours
GARPUN-2	LLC SCIENTIFIC-PRODUCTION ENTERPRISE «NEW TELECOMMUNICATION TECHNOLOGIES»	unknown	unknown	up to 300 m	433–868–900 MHz – 1.17645 GHz; BeiDou (1.20714 / 1.26852 / 1.5750 GHz); GPS (1.17645 / 1.2276 / 1.5754 GHz); Glonass (1.202025 / 1.246 / 1.602 GHz) 2.4 – 5.8 GHz		40 minutes

Backing to the electronic C-UAS, depending on the power of the emitted pulse, shotguns are classified according to the frequency ranges at which they are able to jam the UAV communication channels. These devices are also capable of blocking GSM, 3G, LTE signals at a distance of one kilometer and interfering at different frequencies. However, the drone loses touch with the control panel and lands, but is not physically destroyed. Different companies in Russia offer their own solutions and products. In Tab. 8, there are examples of products like these in Russia (Figs. 1, 2) and some of their characteristics and features [12, 13].



Fig. 1. REX-1 Russian weapons against drones. Protection against unmanned aerial vehicles [12]



Fig. 2. The commercial type «GARPUN-2». Protected from UAV [13]

Conclusions

The HPEM are still under development, and countries must do more effort toward it. The focus should also be on the EC-UAS and increased funding for the research and development of more effective systems. The most effective and cost efficient systems should be prioritized [5]. There may be ambiguity concerning which bodies of law apply depending on the context, as noted in UNIDIR's 2017 study. Establishing the facts and assessing the legality of the use of force has been challenging due to the limited transparency surrounding these operations [14–16].

Detection, identification, and mitigation of the LSS UAS are a challenging problem. The systems exist in the commercial domain that likely solve a limited piece of the larger LSS UAS problem, but no complete system appears to exist with evidence of acceptable performance [11].

The reported study was funded by Russian Science Foundation (project № 19-19-00424) in TUSUR University.

References

1. Michel A.H. Counter-drones systems. Center for the Study of the Drone, 2018. – https://dronecenter.bard.edu/files/2018/02/CSD-Counter-Drone-Systems-Report.pdf

2. Raytheon company. To down a Drone // Raytheon, October 13, 2017. – https://www.raytheon.com/news/feature/anti_drone technology.html.

3. Daniel K. Letter from Small UAV Coalition. – February 2, 2018. – http://www.smalluavcoalition.org/wpcontent/uploads/2018/02/Small-UAV-Coalition-Letter-toFAA-re-Remote-Identification-and-Tracking-2.2.18.pdf

4. Daniels J. Russia says it killed rebels behind swarm drone attack in Syria, but experts see more such strikes ahead. CNBC. – January 12, 2018. – https://www.cnbc.com/2018/01/12/ russia-says-iteliminated-rebels-behind-swarm-drone-attack-insyria.html

5. Abbott C. Hostile Drones: the Hostile Use of Drones against British Targets. Remote Control Project. – January 2016. – http://statewatch.org/news/2016/jan/uk-org-hostile-use-of-drones-jan-2016.pdf

6. Michael J. Letter for Airport Sponsor. – October 26, 2016. – https://www.faa.gov/airports/eastern/nyado_bulletin/media/17-001-faa-uas-detection-testing-letter.pdf

7. Balamurugan G., Valarmathi J., Naidu V.P.S. Survey on UAV navigation in GPS denied environments / 2016 International Conference on Signal Processing, Communication, Power and Embedded System (SCOPES), 2016. – P. 198–204.

8. Esc Aerospace group. – https://www.esc-aerospace.com/Projects/cuas/

9. Diehl Defence. Reliable protection against drone, 2017. – https://www.diehl.com/defence/en/press-and-media/news/reliable-protection-against-drones-esg-diehl-defence-and-rohde-schwarz-cooperate/.

10. Diehl Defence. GUARDION. – https://guardion.eu/

11. Birch G.C., Griffin J.C., Erdman M.K. UAS Detection, Classification, and Neutralization: Market Survey. Sandia National Laboratories, 2015. – https://prod-ng.sandia.gov/techlib-noauth/access-control.cgi/2015/156365.pdf

12. ZALA AERO GROUP Unmanned Systems. – https://zala.aero/rex-1/

13. LLC scientific-production enterprise «new telecommunication technology». – http://www.nppntt.ru/produktsiya/

14. Woodhams G. Weapons of Choice? The Expanding Development, Transfer, and XVI Use of Armed UAVs. UNIDIR, 2018. – https://www.unidir.org/publication/weapons-choice-expanding-development-transfer-and-use-armed-uavs

15. Borrie J., Finckh E., Vignard K. Increasing Transparency, Oversight and Accountability of Armed Unmanned Aerial Vehicles, UNIDIR, 2017. – https://www.unidir.org/publication/increasing-transparency-oversight-and-accountability-armed-unmanned-aerial-vehicles

16. United Nations Secretary-General, Securing Our Common Future: An Agenda for Disarmament, 2018. – https://s3.amazonaws.com/unoda-web/wp-content/uploads/2018/06/sg-disarmament-agenda-pubs-page.pdf

Alhaj Hasan Adnan
Postgraduate student,
Department of Television and Control, TUSUR
Email: alhaj.hasan.adnan@yandex.ru

UDC 621.391.825

A.V. Medvedev, T.R. Gazizov

Using modal reservation in the three-conductor structure for ultrashort pulse attenuation after failure

The paper considers the relevance of research into the efficient use of cold standby by means of modal reservation (MR) methods in order to increase resistance to ultrashort pulses. A quasistatic analysis of the ultrashort pulse propagation was performed in a three-conductor structure with MR in a 50 Ohm path. The faults of two types were considered: a short circuit and an open circuit. It is shown that in operation, the difference in mode delays at the far end of the active conductor located in average is approximately twice as big as that located at the edge, and the maximum amplitude is more than 16%. In the case of a short circuit at one end of the extreme or both conductors, the maximum amplitude at the far end of the active conductor in average increases by 8.8 or 16.89%, respectively. In all other cases, the maximum amplitude either stays unchanged or decreases.

Keywords: electromagnetic compatibility, reliability, cold standby, modal reservation, printed circuit board, failure, ultrashort pulse.

When creating maintenance-free or partially serviced radio electronic equipment (REE), for example, for space or aviation applications, much attention is paid to reliability and electromagnetic compatibility (EMC). Conducted and radiated emissions can lead to disruption of the onboard REE. Therefore, it is necessary to consider EMC in the early stages of design [1]. Particularly dangerous is the impact of powerful ultrashort pulses, as existing surge protectors do not protect against them [2]. There are a number of industrial devices that protect against ultrashort pulses but they have large dimensions and high cost, so there is no low-cost or effective protection alternative against ultrashort pulses. However, the increasing role of electronics makes this protection more urgent.

One of the methods to increase the reliability of onboard REE is cold standby [3]. It allows creating highly reliable systems from typified widespread products using the inactive part of electronic equipment in the case of a malfunction in a functioning part. The need for proper protection against ultrashort pulses, as well as from the redundancy caused by cold standby, will greatly complicate all parts and, as a result, the final design of the equipment. Meanwhile, the presence of redundancy can be efficiently used.

So, there has been proposed the idea of modal reservation (MR), which allows improving the noise immunity of REE on the basis of modal filtering [4]. The proposed technique employs inactive electrical interconnects to protect electronic systems from electromagnetic interference. MR is based on the use of electromagnetic couplings between the reserved and reserving conductors of the reserved and reserving circuits.

The implementation of MR in two-wire microstrip structures of printed circuit boards (PCBs) with an additional dielectric between conductors is described in [5]. Multiwire microstrip structures for the protection against ultrashort pulses have been studied in [6]. However, a three-conductor microstrip structure with an additional dielectric between the conductors has not been studied. Meanwhile, it can affect the attenuation of the noise and the difference in the mode delays during MR, being different for different types of failure.

The purpose of this work is to investigate a three-conductor structure with MR in the event of failure of electronic components. For this, a quasistatic simulation of ultrashort pulse propagation was performed in a three-conductor structure with MP in a 50 Ω path. Faults of two types were considered: a short circuit (SC) and an open circuit (OC).

Structures under Research

The cross section of the simulated structure is shown in Fig. 1. Parameters for simulation were: the width of the conductor $w = 185$ μm, the conductor thickness $t = 36$ μm, the distance from the end of the conductor to the end of the dielectric $d = 555$ μm, the distance between the conductors for the three-conductor structure with MR $s = 85$ μm, the distance from the conductors to the reference layer $h = 200$ μm, the permittivity $\varepsilon_{r1} = 30$, $\varepsilon_{r2} = 4$. The simulation was performed in the TALGAT computer simulation system [7].

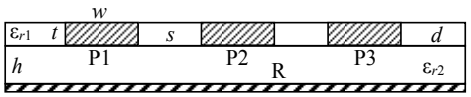


Fig. 1. Cross section of a three-conductor microstrip structure with additional dielectrics

Schematic diagrams for simulating a three-conductor structure with a length of 1 m and with MR are presented in Fig. 2. In case of the reserved circuit failure, it is assumed that the reserving circuit takes over the functions of the reserved circuit. In the simulation, for Fig. 2, *a* and *b*, the values of the active conductor resistors R1 and R2, as well as R3 and R4, respectively, were chosen equal to 50 Ohms. The resistors for the passive conductors were set to 50 ohms, 1 MOhm (OC), 1 μOhm (SC) for different failure modes.

Simulation Results

For the circuit in working condition (resistors at the ends of the passive conductor are 50 Ohms), Fig. 3, *a* shows the voltage waveforms at the near end of the three-conductor structure with the extreme (node 2 in Fig. 2, *a*) and middle (node 3 in Fig. 2, *b*) active con-

ductors. Fig. 3, *b* shows the voltage waveforms at the far end of the active conductor, when it is extreme (node 5 in Fig. 2, *a*) and middle (node 6 in Fig. 2, *b*), as well as the maximum pulse amplitudes (0.45 and 0.58 V in the case of extreme and middle active conductors, respectively). The mode delays in response are 6.85, 7.7, 8.8 ns at the extreme and 6.85, 8.8 ns at the middle active conductors. Thus, with the middle active conductor, the amplitude of the pulses is 16% larger than with the extreme one, but the middle pulse, due to the symmetry of the effect, is lacking, which doubles the maximum duration of the decomposed pulse.

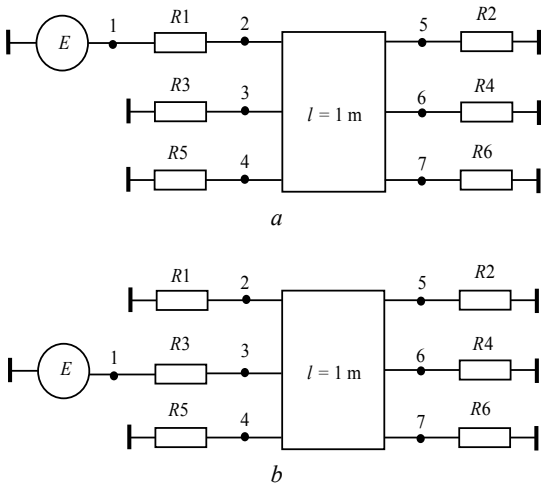


Fig. 2. Schematic diagram of a three-conductor structure with MR with active conductors P1 (*a*) and P2 (*b*) made in the TALGAT system

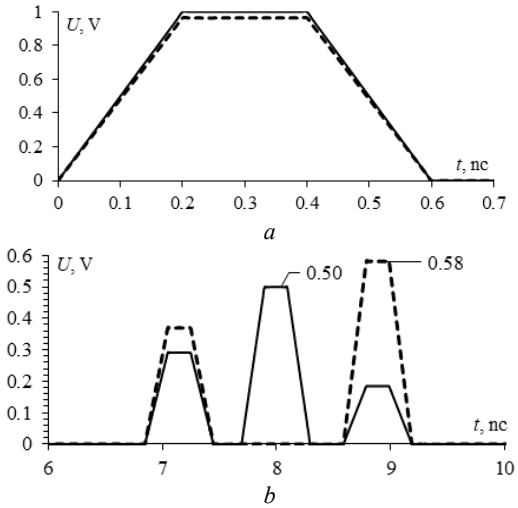


Fig. 3. Waveforms at the near (*a*) and far (*b*) ends of a three-conductor structure with extreme (–) and middle (- -) active conductors

Figs. 4 and 5 show the voltage waveforms at the far end of the three-conductor structure with the extreme (node 5 in Fig. 2, *a*) and middle (node 6 in Fig. 2, *b*) active conductors in the structure with MR under various boundary conditions at one end of the passive conductor, which can occur in the case of the component failure. For the open circuit (Fig. 4) at the far ends of the passive conductors, the maximum voltage amplitudes of the pulses at the far end of the active conductor are less than in the working state. For a short circuit (Fig. 5) at the far end of passive conductors, the maximum pulse voltage amplitudes at the far end of the active conductor are either equal to or greater than in the operating state.

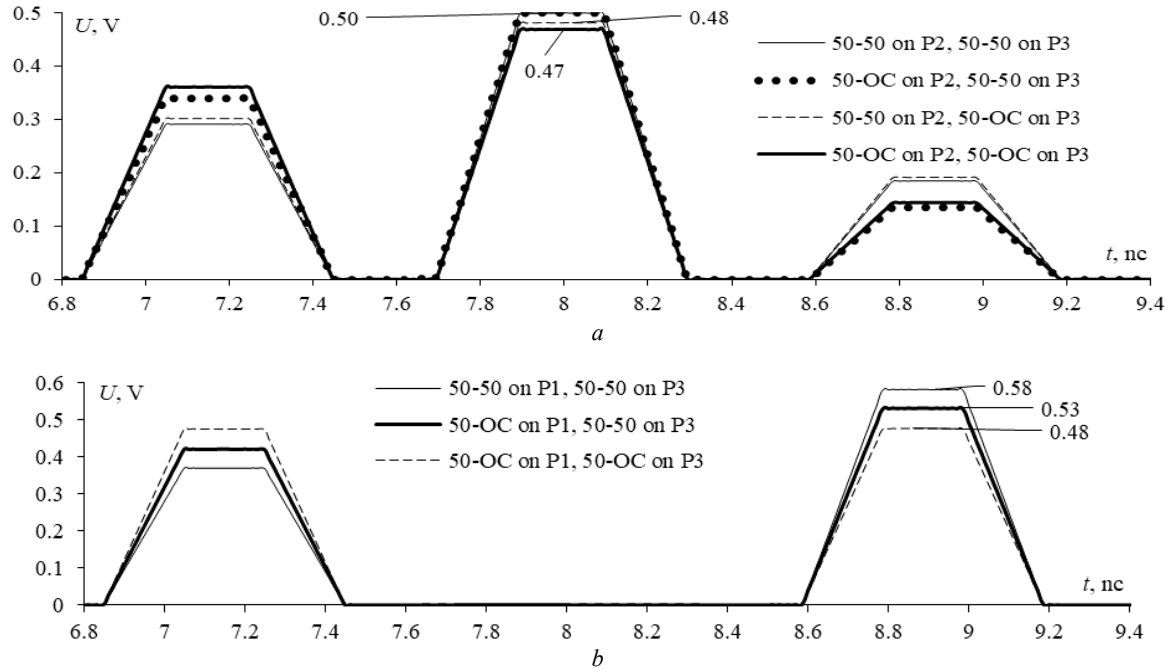


Fig. 4. Waveforms at the far end of the active conductor in the structure with MR at OC at one end of the passive conductor with active conductors P1 (*a*), P2 (*b*)

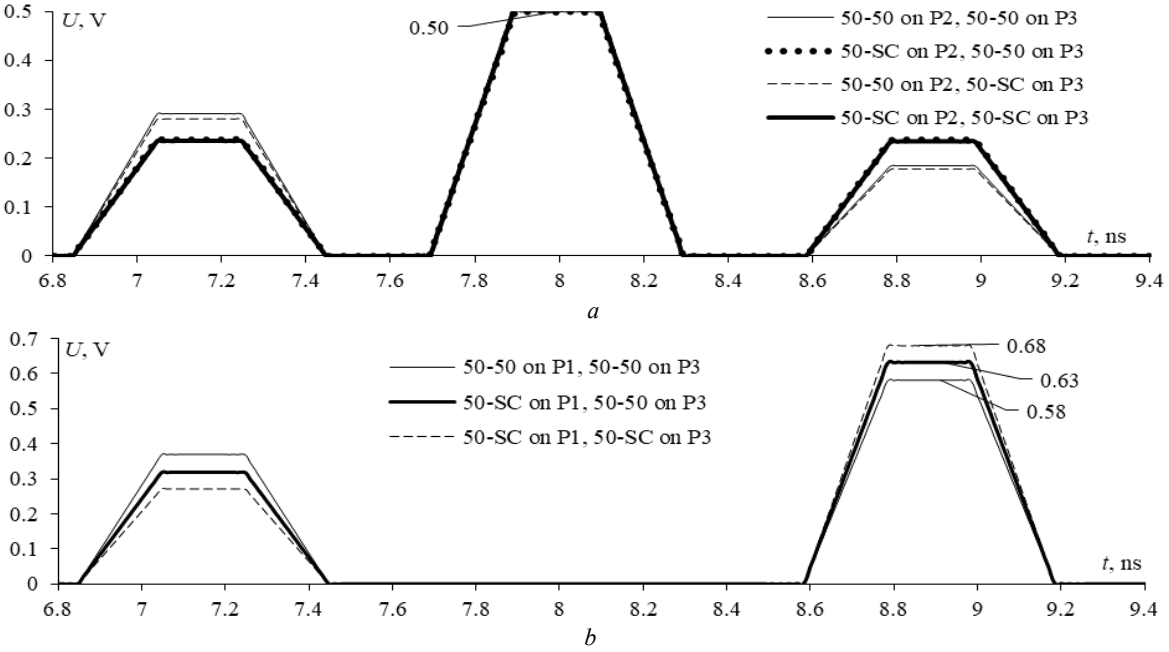


Fig. 5. Waveforms at the far end of the active conductor in the structure with MR at SC at one end of the passive conductor with active conductors P1 (*a*), P2 (*b*)

Conclusion

The paper considered the failure of the system components with MR placed on the 50 Ohm path. It was assumed that the circuit is in operation, if the boundary conditions at the ends of the conductors are approximately 50 Ohm, and if one component of the system fails, a SC or OC is formed at one end of the circuit. It is shown that in the working state, the difference in the mode delays at the far end of the active conductor in the middle is approximately twice as large as that at the edge, but the maximum amplitude is 16% larger. In the case of a SC at one end of the extreme or both conductors, the maximum amplitude at the far end of the active conductor P2 increases by 8.8 and 16.9%, respectively. In other cases, the maximum amplitude either stays unchanged or decreases. Thus, in case of failures, the change in signal amplitude is small. Meanwhile, a detailed analysis of the results allows us to formulate the most preferable choice and order of circuit switching for MR.

The reported study was funded by Russian Science Foundation (project № 19-19-00424) in TUSUR University.

References

1. Paul C.R. Introduction to Electromagnetic Compatibility. – Wiley Interscience. – 2006, 1013 p.

2. Gizatullin Z.M., Gizatullin R.M. Investigation of the immunity of computer equipment to the power-line electromagnetic interference // Journal of Communications Technology and Electronics. – 2016. – No. 5. – P. 546–550.

3. Patel M.R. Spacecraft Power Systems. – CRC Press, 2005. – 691 p.

4. Gazizov T.R., Orlov P.E., Zabolotsky A.M., Kuksenko S.P. New concept of critical infrastructure strengthening // Proc. of the 13th Int. Conf. of Numerical Analysis and Applied Mathematics. – 2015. – P. 1–3.

5. Buichkin E.N., Orlov P.E. Improving modal filtering in new designs of redundant printed circuit boards // Electronic means and control systems. – 2015. – P. 18–21 (in Rus.).

6. Belousov A.O., Gazizov T.R., Zabolotsky A.M. Multiconductor microstrip line as a modal filter for protection against ultrashort pulses // Doklady TUSUR. – 2015. – P. 124–128 (in Rus.).

7. Kuksenko S.P., Gazizov T.R., Zabolotsky A.M. et al. New developments for improved simulation of interconnects based on method of moments // Advances in Intelligent Systems Research (ISSN 1951-6851), proc. of the 2015 Int. Conf. on Modelling, Simulation and Applied Mathematics (MSAM2015). – 2015. – P. 293–301.

Artem V. Medvedev
Postgraduate Student, Department of Television and Control, TUSUR
Email: medart20@rambler.ru

Talgat R. Gazizov
Doctor of Technical Sciences, Head of the Department of Television and Control, TUSUR
Email: talgat@tu.tusur.ru

СОДЕРЖАНИЕ

Секция 11

ОРГАНИЧЕСКАЯ И НЕОРГАНИЧЕСКАЯ ПОЛУПРОВОДНИКОВАЯ СВЕТОТЕХНИКА

*Председатель секции – **Туев Василий Иванович**, зав. каф. РЭТЭМ, д-р техн. наук, профессор*

Д.В. Кожокару, М.В. Андреева, Е.С. Ганская
Исследование светотехнических свойств люминофорных композиций для светодиодов белого цвета свечения 7

Е.Н. Комлева
Модернизация светильника освещения улиц и дорог 9

А.А. Максименко, Ю.И. Стасенко, В.С. Солдаткин
Определение температурного и электрического влияния на характеристики светодиодного излучающего элемента 12

Д.Б. Тудупова, А.Ю. Хомяков, В.С. Солдаткин
Исследования светотехнических характеристик светодиодного светильника для садоводства 14

В.Н. Давыдов, О.Ф. Задорожный
Трехцветные гетероструктуры с управляемым смешением RGB-цветов 16

А.Г. Саинский, В.С. Солдаткин, А.И. Черепнев
Исследование тепловых характеристик светодиода 19

А.А. Барбашов, А.А. Мороз, Е.Г. Незнамова
Влияние режимов освещения на продуктивность фасоли стручковой 21

Т.С. Михальченко, А.О. Шардина, Л.Ш. Юлдашова, В.С. Солдаткин
Влияние ультрафиолетового излучения на микроорганизмы в водной среде 24

В.И. Туев, Д.К. Нуриев
Технологии Li-Fi 26

Секция 12

ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ СОВМЕСТИМОСТЬ

*Председатель секции – **Газизов Тальгат Рашитович,** зав. каф. ТУ, д-р техн. наук*

С.А. Доброславский, Е.С. Жечев, В.П. Костелецкий, А.М. Заболоцкий
Помехоподавляющий фильтр на элементах с сосредоточенными параметрами для силовой шины электропитания космических аппаратов 30

А.П. Фанякина, Р.Р. Хажибеков
Исследование амплитудно-частотных характеристик модального фильтра с лицевой связью с разделением пассивного проводника на отрезки 33

А.М. Лакоза, В.П. Костелецкий, Е.С. Жечев, А.М. Заболоцкий
Исследование характеристик гибридного помехоподавляющего дросселя 36

А.В. Медведев
Ослабление сверхкороткого импульса после отказа при модальном резервировании 38

К.П. Малыгин, А.В. Носов, Р.С. Суровцев
Оптимизация витка меандровой линии по критериям равенства интервалов времени между импульсами разложения и минимизации амплитуды на выходе линии 42

А.М. Лакоза, В.П. Костелецкий, Е.С. Жечев, А.М. Заболоцкий
Исследование характеристик помехоподавляющих фильтров с различной компоновкой индуктивных элементов 45

Е.А. Сердюк, А.В. Носов, Р.С. Суровцев, Т.Р. Газизов
Аналитические математические модели для вычисления временного отклика в витке меандровой линии . 49

Секция 13

АВТОМАТИЗАЦИЯ И ОПТИМИЗАЦИЯ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ И ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ

*Председатель секции – **Кориков Анатолий Михайлович,** д-р техн. наук, профессор, зав. каф. АСУ*

Н.А. Афанасьев, И.А. Тутов
Автоматическое поддержание выбранного тока сварки за счет регулирования скорости подачи наплавочной проволоки 53

Е.В. Смык, А.П. Береснев
Автоматическое распознавание голосовых сообщений в мессенджерах с использованием глубоких нейронных сетей 57
А.В. Бибик, М.Ю. Катаев
Web-информационная система контроля походки человека по изображению 60
С.К. Атанов, А.З. Бигалиева
Интеллектуальное управление технологическим процессом тонкого помола LQR-регулятором 61
С.Г. Фролов
Разработка устройства для получения сигнала с потенциально дефектного участка системы теплоснабжения 64
А.Н. Горитов
Сравнительный анализ методов бинаризации изображений 66
Минь Дай Хо, С.В. Муравьев
Повышение точности оценки измеряемой величины на основе аддитивных совокупных измерений 69
М.Ю. Катаев, В.В. Холодарь
Сайт Центра космического мониторинга Земли ТУСУР 73
М.Ю. Катаев, А.А. Вертеев
Методики обработки данных спутникового прибора Landsat 8 76
М.М. Дадонова, М.Ю. Катаев, М.О. Крылов
Выявление временных изменений текстур различных типов растений на изображениях, полученных с БПЛА 80
Ю.В. Шабля, А.С. Репкин, В.С. Мельман
Алгоритмы ранжирования и генерации по рангу для комбинаторного множества помеченных путей Дика с подъемами на возвратных шагах 84
В.В. Нгуен, А.Н. Устименко
Экспериментальная установка исследования процессов осушением воздуха на базе Arduino и CoDeSys 87
Ю.В. Шабля, А.С. Репкин, В.С. Мельман
Алгоритмы комбинаторной генерации для множества комбинаторных объектов, определяемых транспонированным числовым треугольником Каталана 91
М.П. Сухоруков, Д.С. Торгаева, Н.А. Шаляпина
Методы регулирования подачи установки штангового глубинного насоса 94
Д.Р. Уразаев, Д.С. Брагин, Д.Д. Зыков, И.В. Поспелова
Интеллектуальная система управления распределенной энергетикой 98
А.Ю. Якимук
Применение частоты основного тона при обработке музыкальной информации 101
А.Е. Юртаева, А.С. Михайлёв
Система управления котлом поверхностного горения с диспетчеризацией на мобильном устройстве 104
А.А. Климов, Е.С. Полынцев, И.Д. Шабалин, Е.С. Шандаров
Система управления приложениями для социального робота 108
И.Ю. Проказина, А.А. Согомонянц, А.А. Павлова, А.Е. Кодоров, Е.С. Шандаров
Архитектура комплекса ПО интеллектуальной робототехнической системы обучения и развития ребенка 111

Секция 14

ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

*Председатель секции – **Шелупанов Александр Александрович,** президент ТУСУРа, д-р техн. наук, профессор*

Е.П. Белова, И.В. Машкина
Нейросетевая база биометрических признаков пользователей для систем аутентификации и авторизации 114
А.Н. Поликанин, Н.В. Игнатенко
Исследование возможности применения квадрокоптеров в целях акустической и оптической разведки 117
И.Р. Зулькарнеев, А.Е. Козлов, В.О. Нестор
Деанонимизация правонарушителей в сети Интернет 119

В.Е. Митрохин, Н.Е. Агарков
Параметры съема информации в высокочастотных симметричных кабелях 122
М.А. Поляничко
Подход к оцениванию ценности информационных активов организации при противодействии инсайдерам 126
А.А. Соболев, А.В. Куртукова, А.С. Романов, М.И. Васильева
Определение возраста автора анонимного текста 128
И.С. Рыбина, К.П. Гужаковская
Разработка подсистемы безопасности системы «Сетевой город» 132
Т.Т. Зангиев, И.А. Корх, Е.А. Туркин
Автоматизация оптимального выбора средства защиты информации 134
Д.И. Новохрестова, Е.Ю. Костюченко
Алгоритм детектирования голосовой активности в программном комплексе по оценке разборчивости речи 138

Секция 15

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В УПРАВЛЕНИИ И ПРИНЯТИИ РЕШЕНИЙ

*Председатель секции – **Сенченко Павел Васильевич,** канд. техн. наук, проректор по учебной работе, доцент каф. АОИ*

Е.И. Грибков, Ю.П. Ехлаков
Модель обработки запросов пользователей на этапе эксплуатации и сопровождения программного продукта 141
М.И. Васильева, А.В. Куртукова, А.С. Романов, А.М. Федотова
Разработка системы тонального анализа текста с использованием ансамбля классификаторов 144
З.А. Гасымов, М.М. Немирович-Данченко, С.В. Глухарева, Ю.О. Лобода
Подходы к принятию решений в сфере образования на основе обработки дополнительных биометрических данных обучающихся 147
В.А. Игнаткин, М.А. Коломиец, А.А. Лапкис, О.Ф. Цуверкалова
Программа для оперативного расчета изменения реактивности реактора ВВЭР-1000 «ANFC-i» 150
Е.В. Грива, Р.С. Кульшин, С.В. Коновалов
Разработка платформы оказания паллиативной помощи 153
А.Э. Петрунина, Н.С. Цыганков, А.К. Москалев
Нейросетевое моделирование при формировании приоритетных направлений развития региона 155
В.М. Саклаков
Классификация субъектов взаимодействия в информационном пространстве общества 158
Б.В. Ширяев, Д.П. Аргунов, А.В. Безрук
Алгоритм автоматизированного визуального контроля СВЧ МИС на основе искусственной нейронной сети с вычислением средневзвешенного пиксельного расстояния 162
Р.А. Василенко, О.С. Жабин
Создание автоматизированной системы для управления вращением антенн 164

Секция 16

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ОБУЧЕНИИ

*Председатель секции – **Дмитриев Вячеслав Михайлович,** проф. каф. КСУП, д-р техн. наук*

Л.Н. Андрийчук, В.А. Семиглазов
Применение 3D-технологий в школьной образовательной среде 168
А.В. Баранов, И.Д. Мурамщиков, Н.А. Скрынник
Проектная разработка виртуальной лабораторной работы с 3D-визуализацией движения гироскопа 170
А.К. Бреева, Н.Е. Мельникова, Д.В. Кручинин
Автоматизированная система по математике, адаптированная для людей с нарушениями слуха 172
А.К. Бреева, Н.Е. Мельникова, Д.В. Кручинин
Внедрение индивидуальной траектории обучения в электронные курсы 174

А.В. Кравцова, В.И. Морозов
Использование плагина STACK для формирования различных типов тренажёров.....176
В.М. Дмитриев, Т.В. Ганджа, Т.Н. Зайченко, М.И. Кочергин
Методика построения виртуально-физической лаборатории «Элементы и устройства роботизированных систем».....178

Секция 17

ВИДЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ЦИФРОВОЕ ТЕЛЕВИДЕНИЕ

*Председатели секции – **Курячий Михаил Иванович,** доцент каф. ТУ, канд. техн. наук; **Зайцева Екатерина Викторовна,** доцент каф. ТУ, канд. техн. наук*

В.В. Гассельбах, О.С. Дмитриенко, А.С. Рудникович
Устранение артефактов сжатия изображений с использованием нейросетевого алгоритма шумоподавляющего автокодировщика.....183
Т.Ю. Гребёнкина
Сегментация рынка программного обеспечения для потоковой передачи видеоданных 185
А.К. Мовчан, В.В. Капустин, М.И. Курячий, Е.С. Чалдина
Статистический анализ и экспериментальная оценка форм зон видения активно-импульсных телевизионных измерительных систем.....188
Д.В. Титов
Методы и средства обработки спектрозональных изображений.....192
А.С. Захлебин
Подсчет объема насыпи полезных ископаемых с использованием БПЛА вертолетного типа DJI Phantom 4 PRO.....195

Секция 19

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ В ЕСТЕСТВЕННЫХ И ТЕХНИЧЕСКИХ НАУКАХ

*Председатель секции – **Зариковская Наталья Вячеславовна,** доцент каф. АОИ, канд. физ.-мат. наук*

Донг Ван Хоанг
Модели и алгоритмы адаптивной диагностики фильтрационных потоков в процессе гидродинамических исследований горизонтальных скважин.....197
А.П. Кирпичников, М.Н. Томилова
О характеристиках открытых многоканальных систем массового обслуживания с частичной взаимопомощью между каналами.....200
А.В. Козлов
Исследование структуры интегрального датчика Холла с помощью приборно-технологического моделирования в TCAD 202
А.В. Куртукова, А.С. Романов
Математические модели нейронных сетей для установления авторства программного кода 205
Е.Р. Калюжный, Н.В. Зариковская
Оценка уровня знаний обучающихся с использованием мобильных и веб-систем 209
А.Е. Пискарев, Н.В. Зариковская
Интеллектуальная система поддержки планирования и управления проектом 211
А.Е. Пискарев, Н.В. Зариковская
Вспомогательные инструменты разработки frontend-приложений.....215

Секция 20

ЭЛЕКТРОННОЕ ГОСУДАРСТВО: ПРЕДПРИНИМАТЕЛЬСТВО И АДМИНИСТРАТИВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ

*Председатель секции – **Сидоров Анатолий Анатольевич,** зав. каф. АОИ, канд. экон. наук*

А.А. Гавриленко
Государственная интегрированная информационная система «Электронный бюджет»: хронология внедрения и текущие достижения 217

А.А. Сидоров, М.А. Шишанина
Когнитивное моделирование как инструмент разработки сценариев социально-экономического развития муниципальных образований 221

Секция 21

RESULTS OF POSTGRADUATE AND MASTER STUDENTS' RESEARCH IN THE SPHERE OF ELECTRONICS AND CONTROL SYSTEMS

*Председатели секции – **Покровская Елена Михайловна,** зав. каф. ИЯ, канд. филос. наук;*
***Шпит Елена Ирисметовна,** ст. преп. каф. ИЯ*

M.B. Bardamova
Constructing the fuzzy classifier for analyzing imbalanced network traffic data with the gravitational search algorithm 225

A.D. Bezpaly
Refractive index changes induced in the surface layer of lithium niobate during the channel waveguide formation 228

D.I. Novokhrestova, E.Y. Kostyuchenko, I.A. Rahmanenko
Time normalization with using the dynamic time warping (DTW) algorithm in assessing of speech quality 230

S.KH. Karri, R.S. Surovtsev, A.T. Gazizov, A.V. Nosov
Electrodynamic analysis of the meander delay line with two turns 232

V.N. Davydov, O.F. Zadorozhny
Using the heterostructure with staggered QWs for controlled RGB color offset 235

A. Alhaj Hasan
Review of the use and current status of UAV technology and their capabilities 237

A. Alhaj Hasan
Review of the counter-drone systems and their efficiency against the UAV technology 241

A.V. Medvedev, T.R. Gazizov
Using modal reservation in the three-conductor structure for ultrashort pulse attenuation after failure 245

Для заметок

Научное издание

ЭЛЕКТРОННЫЕ СРЕДСТВА И СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

XV Международная научно-практическая конференция

20–22 ноября 2019 г.

Материалы докладов

В двух частях

Часть 2

Electronic Devices and Control Systems
XV International Scientific-practical Conference
November 20–22, 2019
Part 2

Верстка В.М. Бочкаревой
Корректор В.Г. Лихачева

Издательство «В-Спектр»
Подписано к печати 25.11.2019.
Формат $70\times100^{1}/_{16}$. Печать трафаретная.
Печ. л. 15,9. Тираж 100 экз. Заказ 27.

Издано ТУСУР
634050, г. Томск, пр. Ленина, 40, к. 205, ГК. Тел. (382-2) 70-15-24.

Издательство «В-Спектр». ИНН 7017129340
634055, Томск, пр. Академический, 13-24. bvm@sibmail.com