



Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники

 РАДИОТЕХНИЧЕСКИЙ  
ФАКУЛЬТЕТ

 РАДИОКОНСТРУКТОРСКИЙ  
ФАКУЛЬТЕТ

 ФАКУЛЬТЕТ  
ЭЛЕКТРОННОЙ ТЕХНИКИ


 ФАКУЛЬТЕТ  
СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ


 ФАКУЛЬТЕТ  
ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

 ГУМАНИТАРНЫЙ  
ФАКУЛЬТЕТ


 ФАКУЛЬТЕТ  
БЕЗОПАСНОСТИ

 ЭКОНОМИЧЕСКИЙ  
ФАКУЛЬТЕТ

 ФАКУЛЬТЕТ  
ИННОВАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

 ЮРИДИЧЕСКИЙ  
ФАКУЛЬТЕТ

 ЗАОЧНЫЙ И ВЕЧЕРНИЙ  
ФАКУЛЬТЕТ

 ФАКУЛЬТЕТ  
ДИСТАНЦИОННОГО  
ОБУЧЕНИЯ

**ВЫБИРАЯ БУДУЩЕЕ,  
ВЫБИРАЙ TUSUR!**

634050, г. Томск, пр. Ленина, 40, каб. 129 E-mail: [onir@main.tusur.ru](mailto:onir@main.tusur.ru)  
Телефон/Факс: (3822) 900-100 Сайт: <http://tusur.ru/>

Информационный центр абитуриента: [magistrant.tusur.ru](http://magistrant.tusur.ru)

## Сборник избранных статей научной сессии TUSUR



ПО МАТЕРИАЛАМ МЕЖДУНАРОДНОЙ  
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ  
СТУДЕНТОВ, АСПИРАНТОВ  
И МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ  
г. Томск, 16–18 мая 2018 г.  
(в трех частях)

ЧАСТЬ 3

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ  
УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ (ТУСУР)»

# **Сборник избранных статей научной сессии ТУСУР**

**По материалам  
Международной научно-технической конференции  
студентов, аспирантов и молодых ученых  
«Научная сессия ТУСУР–2018»**

**16–18 мая 2018 г., г. Томск**

**В трех частях**

Часть 3

В-Спектр  
2018

**УДК 621.37/.39+681.518 (063)**

**ББК 32.84я431+32.988я431**

**Н 34**

**Н 34 Сборник избранных статей научной сессии ТУСУР**, Томск, 16–18 мая 2018 г.: в 3 частях. – Томск: В-Спектр, 2018 – Ч. 3. – 264 с.

ISBN 978-5-91191-382-3

ISBN 978-5-91191-386-1 (Ч. 3)

Материалы Международной научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых посвящены различным аспектам разработки, исследования и практического применения радиотехнических, телевизионных и телекоммуникационных систем и устройств, сетей электро- и радиосвязи, вопросам проектирования и технологии радиоэлектронных средств, аудиовизуальной техники, бытовой радиоэлектронной аппаратуры, а также автоматизированных систем управления и проектирования. Рассматриваются проблемы электроники СВЧ- и акустооптоэлектроники, нанофотоники, физической, плазменной, квантовой, промышленной электроники, радиотехники, информационно-измерительных приборов и устройств, распределенных информационных технологий, вычислительного интеллекта, автоматизации технологических процессов, в частности, в системах управления и проектирования, информационной безопасности и защиты информации. Представлены статьи по математическому моделированию в технике, экономике и менеджменте, антикризисному управлению, правовым проблемам современной России, автоматизации управления в технике и образовании, а также работы, касающиеся социокультурных проблем современности, экологии, мониторинга окружающей среды и безопасности жизнедеятельности.

УДК 621.37/.39+681.518 (063)

ББК 32.84я431+32.988я431

**ISBN 978-5-91191-382-3**

**ISBN 978-5-91191-386-1 (Ч. 3)**

© Том. гос. ун-т систем управления  
и радиоэлектроники, 2018

# Сборник избранных статей научной сессии ТУСУР

по материалам Международной научно-технической  
конференции студентов, аспирантов и молодых ученых  
«Научная сессия ТУСУР–2018», 16–18 мая 2018 г.

## ПРОГРАММНЫЙ КОМИТЕТ

- Шелупанов А.А. – председатель Программного комитета, ректор ТУСУРа, директор Института системной интеграции и безопасности, председатель правления Томского профессорского собрания, д.т.н., проф.;
- Мещеряков Р.В. – заместитель председателя Программного комитета, проректор по научной работе и инновациям ТУСУРа, зав. каф. БИС, д.т.н., проф.;
- Абдрахманова М.В., директор библиотеки ТУСУРа;
- Агеев Е.Ю., начальник научного управления, к.и.н.;
- Афонасова М.А., зав. каф. менеджмента, д.э.н., проф.;
- Бабур-Карателли Г.П.; к.т.н., PhD (TU Delft), научный сотрудник каф. ТОР ТУСУРа;
- Беляев Б.А., зав. лаб. электродинамики и СВЧ-электроники ин-та физики СО РАН, д.т.н., г. Красноярск;
- Васильковская Н.Б., доцент каф. экономики, к.э.н., доцент;
- Голиков А.М., доцент каф. РТС, к.т.н.;
- Грик Н.А., зав. каф. ИСР, д.и.н., проф.;
- Давыдова Е.М., декан ФБ, доцент каф. КИБЭВС, к.т.н.;
- Демидов А.Я., проф. каф. ТОР, к.ф.-м.н., доцент;
- Дмитриев В.М., проф. каф. КСУП, д.т.н., проф.;
- Дробот П.Н., доцент каф. УИ, к.ф.-м.н.;
- Еханин С.Г., проф. каф. КУДР, д.ф.-м.н., доцент;
- Заболоцкий А.М., проф. каф. ТУ, д.т.н.;
- Зариковская Н.В., доцент каф. ЭМИС, к.ф.-м.н., доцент;
- Исакова А.И., доцент каф. АСУ, доцент, к.т.н.;
- Карателли Д., PhD [Sapienza University of Rome], технический директор компании «The Antenna Company Nederland B.V.»;
- Карташев А.Г., проф. каф. РЭТЭМ, д.б.н., проф.;
- Катаев М.Ю., проф. каф. АСУ, д.т.н., проф.;
- Коцубинский В.П., зам. зав. каф. КСУП, доцент каф. КСУП, к.т.н., доцент;
- Красинский С.Л., декан ЮФ, к.и.н.;
- Лоцилов А.Г., зав. каф. КУДР, начальник СКБ «Смена» ТУСУРа, к.т.н.;
- Лукин В.П., зав. лаб. когерентной и адаптивной оптики ИОА СО РАН, почетный член Американского оптического общества, д.ф.-м.н., проф., г. Томск;
- Малюк А.А., проф. каф. «Кибербезопасность» НИЯУ МИФИ, к.т.н., г. Москва;
- Малютин Н.Д., директор НИИ систем электрической связи, проф. каф. КУДР, д.т.н., проф.;
- Михальченко Г.Я., директор НИИ ПрЭ, д.т.н., проф.;

- Мицель А.А., проф. каф. АСУ, д.т.н., проф.;
- Мозгунов А.В., начальник ОНиР;
- Озеркин Д.В., декан РКФ, к.т.н., доцент;
- Покровская Е.М., зав. каф. ИЯ, доцент, к.филос.н.;
- Разинкин В.П., проф. каф. ТОР НГТУ, д.т.н., проф., г. Новосибирск;
- Семенов Э.В., проф. каф. РСС, д.т.н., доцент;
- Сенченко П.В., декан ФСУ, доцент каф. АОИ, к.т.н., доцент;
- Сулова Т.И., декан ГФ, зав. каф. ФиС, д.филос.н., проф.;
- Троян П.Е., зав. каф. ФЭ, проректор по учебной работе, д.т.н., проф.;
- Хаминов Д.В., зав. каф. ТП, зам. декана ЮФ, к.и.н.;
- Ходашинский И.А., проф. каф. КИБЭВС, д.т.н., проф.;
- Шарангович С.Н., проф., зав. каф. СВЧКР, к.ф.-м.н.;
- Шостак А.С., проф. каф. КИПР, д.т.н.

## **ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ**

- Мещеряков Р.В., проректор по научной работе и инновациям ТУСУРа, зав. каф. БИС, д.т.н., проф.;
- Агеев Е.Ю., начальник научного управления, к.т.н.;
- Коротина Т.Ю., заведующая аспирантурой, к.т.н.;
- Юрченкова Е.А., вед. инженер ОППО, к.х.н.;
- Медовник А.В., председатель Совета молодых ученых, доцент каф. физики, к.т.н.;
- Боберь Ю.Н., инженер ОППО;
- Покровская Е.М., зав. каф. ИЯ, доцент, к.филос.н.

## **СЕКЦИИ КОНФЕРЕНЦИИ**

### **Секция 1. Радиотехника и связь**

Подсекция 1.1. Радиотехнические системы и распространение радиоволн. Председатель секции – *Тисленко Владимир Ильич*, проф. каф. РТС, д.т.н.; зам. председателя – *Захаров Фёдор Николаевич*, доцент каф. РТС, к.т.н.

Подсекция 1.2. Проектирование и эксплуатация радиоэлектронных средств. Председатель секции – *Шостак Аркадий Степанович*, проф. каф. КИПР, д.т.н.; зам. председателя – *Озёркин Денис Витальевич*, декан РКФ, к.т.н.

Подсекция 1.3. Радиотехника. Председатель секции – *Семенов Эдуард Валерьевич*, проф. каф. РСС, доцент, д.т.н.; зам. председателя – *Артищев Сергей Александрович*, доцент каф. КУДР, м.н.с. СКБ «Смена», к.т.н.

Подсекция 1.5. Аудиовизуальная техника, цифровое телерадиовещание и информационный сервис. Председатель секции – *Курячий Михаил Иванович*, доцент каф. ТУ, к.т.н.; зам. председателя – *Костевич Анатолий Геннадьевич*, доцент каф. ТУ, к.т.н., с.н.с.

Подсекция 1.6. Инфокоммуникационные технологии и системы широкополосного беспроводного доступа. Председатель секции – *Демидов Анатолий Яковлевич*, зав. каф. ТОР, к.ф.-м.н.; зам. председателя – *Гельцер Андрей Александрович*, доцент каф. ТОР, к.т.н.

Подсекция 1.7. Робототехника. Председатель секции – *Коцубинский Владислав Петрович*, доцент каф. КСУП, к.т.н.; зам. председателя – *Винник Александр Евгеньевич*, н.с. каф. КСУП.

Подсекция 1.8. Интеллектуальные системы проектирования технических устройств. Председатель секции – *Шурыгин Юрий Алексеевич*, первый проректор, зав. каф. КСУП, д.т.н., проф.; зам. председателя – *Черкашин Михаил Владимирович*, доцент каф. КСУП, к.т.н.

## **Секция 2. Электроника и приборостроение**

Подсекция 2.1. Проектирование биомедицинских электронных и наноэлектронных средств. Председатель секции – *Еханин Сергей Георгиевич*, проф. каф. КУДР, д.ф.-м.н. доцент; зам. председателя – *Романовский Михаил Николаевич*, доцент каф. КУДР, к.т.н.

Подсекция 2.2. Разработка контрольно-измерительной аппаратуры. Председатель секции – *Лоцилов Антон Геннадьевич*, зав. каф. КУДР, начальник СКБ «Смена», к.т.н.; зам. председателя – *Убайчин Антон Викторович*, с.н.с. СКБ «Смена», к.т.н.

Подсекция 2.3. Физическая и плазменная электроника. Председатель секции – *Троян Павел Ефимович*, проректор по УР, зав. каф. ФЭ, д.т.н., проф.; зам. председателя – *Смирнов Серафим Всеволодович*, проф. каф. ФЭ, д.т.н.

Подсекция 2.4. Промышленная электроника. Председатель секции – *Михальченко Геннадий Яковлевич*, директор НИИ ПрЭ, д.т.н., проф.; зам. председателя – *Семёнов Валерий Дмитриевич*, проф. каф. ПрЭ, к.т.н.

Подсекция 2.5. Оптические информационные технологии, нанофотоника и оптоэлектроника. Председатель секции – *Шарангович Сергей Николаевич*, проф., зав. каф. СВЧиКР, к.ф.-м.н.; зам. председателя – *Перин Антон Сергеевич*, доцент каф. СВЧиКР, к.т.н.

Подсекция 2.6. Электромагнитная совместимость. Председатель секции – *Заболоцкий Александр Михайлович*, проф. каф. ТУ, д.т.н.; зам. председателя – *Куксенко Сергей Петрович*, доцент каф. ТУ, к.т.н.

Подсекция 2.7. Светодиоды и светотехнические устройства. Председатель секции – *Туев Василий Иванович*, зав. каф. РЭТЭМ, д.т.н.; зам. председателя – *Вилисов Анатолий Александрович*, проф. каф. РЭТЭМ, д.т.н.

### **Секция 3. Информационные технологии и системы**

Подсекция 3.1. Интегрированные информационно-управляющие системы. Председатель секции – *Катаев Михаил Юрьевич*, проф. каф. АСУ, д.т.н.; зам. председателя – *Суханов Александр Яковлевич*, доцент каф. АСУ, к.т.н.

Подсекция 3.2. Распределённые информационные технологии и системы. Председатель секции – *Сенченко Павел Васильевич*, декан ФСУ, доцент каф. АОИ, к.т.н.; зам. председателя – *Сидоров Анатолий Анатольевич*, доцент каф. АОИ, к.т.н.

Подсекция 3.3. Автоматизация управления в технике и образовании. Председатель секции – *Дмитриев Вячеслав Михайлович*, проф. каф. КСУП, д.т.н.; зам. председателя – *Ганджа Тарас Викторович*, доцент каф. КСУП, к.т.н.

Подсекция 3.4. Моделирование в естественных и технических науках. Председатель секции – *Зариковская Наталья Вячеславовна*, доцент каф. ЭМИС, к.ф.-м.н.; зам. председателя – *Колотаев Илья Владимирович*, разработчик ООО «СибирьСофтПроект».

Подсекция 3.5. Вычислительный интеллект. Председатель секции – *Ходашинский Илья Александрович*, проф. каф. КИБЭВС, д.т.н.; зам. председателя – *Сарин Константин Сергеевич*, доцент каф. КИБЭВС, к.т.н.

Подсекция 3.6. Современные библиотечные технологии. Председатель секции – *Абдрахманова Марина Викторовна*, директор библиотеки ТУСУРа; зам. председателя – *Карауш Александр Сергеевич*, доцент каф. РСС, к.т.н.

Подсекция 3.7. Молодежные инновационные научные и научно-технические проекты. Председатель секции – *Дробот Павел Николаевич*, доцент каф. УИ, к.ф.-м.н.; зам. председателя – *Нариманова Гуфана Нурлабековна*, зав. каф. УИ, к.ф.-м.н., доцент.

Подсекция 3.8. Разработка программного обеспечения. Председатель секции – *Гордиевских Вячеслав Валерьевич*, генеральный директор ООО «СибирьСофтПроект»; зам. председателя – *Зариковская Наталья Вячеславовна*, доцент каф. ЭМИС, к.ф.-м.н.

Подсекция 3.9. Инструментальные средства поддержки автоматизированного проектирования и управления. Председатель секции – *Хабибулина Надежда Юрьевна*, доцент каф. КСУП, к.т.н.; зам. председателя – *Потапова Евгения Андреевна*, ст. преподаватель каф. КСУП.

#### **Секция 4. Информационная безопасность**

- Подсекция 4.1. Методы и системы защиты информации. Информационная безопасность. Председатель секции – *Шелупанов Александр Александрович*, ректор ТУСУРа, директор ИСИБ, д.т.н., проф.; зам. председателя – *Конев Антон Александрович*, доцент каф. КИБЭВС, к.т.н.
- Подсекция 4.2. Радиоэлектронные системы передачи информации и средства их защиты. Председатель секции – *Голиков Александр Михайлович*, доцент каф. РТС, к.т.н.; зам. председателя – *Бернгардт Александр Самуилович*, доцент каф. РТС, к.т.н.
- Подсекция 4.3. Экономическая безопасность. Председатель секции – *Кузьмина Елена Александровна*, доцент каф. КИБЭВС, к.т.н.; зам. председателя – *Глухарева Светлана Владимировна*, ст. преподаватель каф. КИБЭВС.

#### **Секция 5. Экономика, управление, социальные и правовые проблемы современности**

- Подсекция 5.1. Моделирование в экономике. Председатель секции – *Мицель Артур Александрович*, проф. каф. АСУ, д.т.н.; зам. председателя – *Грибанова Екатерина Борисовна*, доцент каф. АСУ, к.т.н.
- Подсекция 5.2. Информационные системы в экономике. Председатель секции – *Исакова Анна Ивановна*, доцент каф. АСУ, к.т.н.; зам. председателя – *Григорьева Марина Викторовна*, доцент каф. АСУ, к.т.н.
- Подсекция 5.3. Современные методы финансового планирования. Председатель секции – *Васильковская Наталья Борисовна*, доцент каф. экономики, к.э.н.; зам. председателя – *Цибулькикова Валерия Юрьевна*, доцент каф. экономики, к.э.н.
- Подсекция 5.4. Проектный менеджмент и его использование в цифровой экономике. Председатель секции – *Афонасова Маргарита Алексеевна*, зав. каф. менеджмента, д.э.н.; зам. председателя – *Богомолова Алена Владимировна*, декан ЭФ, доцент каф. менеджмента, к.э.н.
- Подсекция 5.5. Современные социокультурные технологии в организации работы с молодежью. Председатель секции – *Суслова Татьяна Ивановна*, декан ГФ, зав. каф. ФиС, д.филос.н., проф.; зам. председателя – *Орлова Вера Вениаминовна*, проф. каф. ФиС, директор НОЦ «СГТ», д.соц.н.
- Подсекция 5.6. Актуальные проблемы социальной работы в современном обществе. Председатель секции – *Грик Николай Анто-*



нович, зав. каф. ИСР, д.и.н., проф.; зам. председателя – *Куренков Артем Валериевич*, доцент каф. ИСР, к.и.н.

**Школа-семинар:** Правовые проблемы современной России. Председатель секции – *Хаминов Дмитрий Викторович*, зав. каф. ТП, зам. декана ЮФ, к.и.н.; зам. председателя – *Газизов Родион Маратович*, ст. преподаватель каф. ИП.

**Секция 6. Экология и мониторинг окружающей среды. Безопасность жизнедеятельности.** Председатель секции – *Карташев Александр Георгиевич*, проф. каф. РЭТЭМ, д.б.н.; зам. председателя – *Денисова Татьяна Владимировна*, доцент каф. РЭТЭМ, к.б.н.

**Секция 7. Открытия. Творчество. Проекты.** (Секция для школьников). Председатель секции – *Мозгунов Алексей Викторович*, начальник ОНиР; зам. председателя – *Колесник Анастасия Викторовна*, инженер ОНиР.

**Секция 8. Postgraduate and Master Students' Research in Electronics and Control Systems.** (Секция на английском языке). Председатель секции – *Покровская Елена Михайловна*, зав. каф. ИЯ, доцент, к.филос.н.; зам. председателя – *Шпит Елена Ирismetовна*, ст. преподаватель каф. ИЯ; *Соболевская Ольга Владимировна*, ст. преподаватель каф. ИЯ.

**Круглый стол.** Интеграция образовательных технологий и ресурсов школы, техникума и вуза в целях повышения качества непрерывной подготовки специалистов.

**Адрес оргкомитета:**

**634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 40,  
ФГБОУ ВО «ТУСУР», научное управление (НУ), к. 205  
Тел.: 8-(382-2) 701-524; e-mail: nstusur@main.tusur.ru**

**Распределение публикаций по секциям и частям сборника:**

1-я часть – 1-я секция (подсекции 1.1 – 1.8); 4-я секция (подсекции 4.1 – 4.3); 5-я секция (подсекции 5.1 – 5.6);

2-я часть – 2-я секция (подсекции 2.1 – 2.7);

3-я часть – 3-я секция (подсекции 3.1 – 3.9); 6-я секция; 8-я секция.

Доклады 7-й секции печатаются отдельным сборником.

## *Спонсор конференции – Группа компаний «Научное оборудование»*



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

---

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.

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

## Спонсор конференции – ООО «Кейсайт Текнолоджиз»



**KEYSIGHT  
TECHNOLOGIES**

ООО «Кейсайт Текнолоджиз»  
Россия, 115054, г. Москва  
Космодамианская наб., 52, стр. 3

Тел.: 495 797 39 00  
Факс: 495 797 39 02  
[www.keysight.ru](http://www.keysight.ru)

---

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

Как самостоятельная компания Keysight Technologies была образована в 2014 г. в результате стратегического разделения компании Agilent Technologies, которая, в свою очередь, до 1999 г. входила в корпорацию Hewlett-Packard. Первый измерительный прибор под маркой Hewlett-Packard был выпущен более 75 лет назад.

В настоящий момент компания Keysight Technologies предоставляет самый широкий на рынке спектр лабораторных, модульных и портативных контрольно-измерительных приборов, в т.ч. оборудование для радиоизмерений (генераторы сигналов, анализаторы сигналов, анализаторы цепей), осциллографы и приборы общего назначения (мультиметры, источники питания, генераторы импульсов, системы сбора данных, логические анализаторы, ручные приборы), решения для тестирования телекоммуникаций, а также системы автоматизированного проектирования и моделирования электронных устройств.

В России приборы Keysight Technologies, ранее производимые под маркой Hewlett-Packard/Agilent, используются уже более 45 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 заказчиков Keysight Technologies в России ведущие научно-исследовательские институты, конструкторские бюро, вузы, крупнейшие операторы связи.

В 2012 г. компания Keysight Technologies открыла два 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](http://www.keysight.ru)

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

**СЕКЦИЯ 3**

**ИНФОРМАЦИОННЫЕ  
ТЕХНОЛОГИИ И СИСТЕМЫ**



## **ПОДСЕКЦИЯ 3.1**

### **ИНТЕГРИРОВАННЫЕ ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩИЕ СИСТЕМЫ**

*Председатель – Катаев М.Ю., проф. каф. АСУ, д.т.н., проф.;*  
*зам. председателя – Суханов А.Я., доцент каф. АСУ, к.т.н.*

#### **ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ КОМПЬЮТЕРНОГО ТОМОГРАФА**

*К.В. Часовников, студент; А.С. Попов, аспирант ИЯТШ*  
*Научный руководитель А.В. Обходский, доцент ИЯТШ, к.т.н.*  
*г. Томск, ТПУ, kvc3@tpu.ru*

Рентгенография является эффективным инструментом для неразрушающего исследования и, в частности, для медицинской визуализации. Традиционная рентгенография позволяет получать проекционные изображения через взаимодействие рентгеновского излучения с исследуемым объектом, которое обычно связано с плотностью этого объекта, и составляющими его элементами. Компьютерная томография (КТ) позволяет получить информацию об объекте, раскрывая информацию о его внутреннем строении с высокой разрешающей способностью. В результате исследования различных образцов материалов формируется большое количество экспериментальных данных: файлы растровых изображений в формате DCM, параметры настройки оборудования томографа, расчетные параметры, метаданные с описанием эксперимента, описания применяемых алгоритмы реконструкции, а также другие данные, обеспечивающие всесторонний анализ результатов экспериментов. Все эти данные необходимо сохранять в полном объеме, так как они могут понадобиться исследователю в будущем. Особенности компьютерных томографов и широкое разнообразие как исходных, так и результирующих данных значительно усложняют процесс создания программных инструментов для распределенного хранения и удаленного доступа к экспериментальным данным. В проекте создания компьютерного томографа проблема была решена путем интегрирования отдельной системы хранения данных (СХД) в информационную систему томографа [1].

**Методы исследования.** Разработанная система включает приложение пользователя и базу данных, функционирующую на отдельном информационном сервере компьютерного томографа.

База экспериментальных данных «Tgraph\_dbase» предназначена для хранения и структурирования полученных экспериментальных данных. Реляционная модель базы данных используется для обеспечения необходимой эффективности и рациональности хранения данных. Для пользователя реляционная модель базы данных представляется в виде связанных таблиц. Данные таблицы выстраиваются в виде иерархии, информация в которых представлена в соответствии с разделением по принадлежности к материалу, его структуре, определенному исследованию, применяемым алгоритмам реконструкции, полученным данным. Взаимодействия в информационной системе осуществляются при помощи приложения пользователя, с помощью которого осуществляется доступ к экспериментальным данным, и системы управления базой данных (СУБД) «PostgreSQL 9.5» с предустановленной специализированной хранимой процедурой.

**Результаты.** После завершения исследования образца материала (рис. 1) полученные данные помещаются в файловый каталог соответствующего исследования.

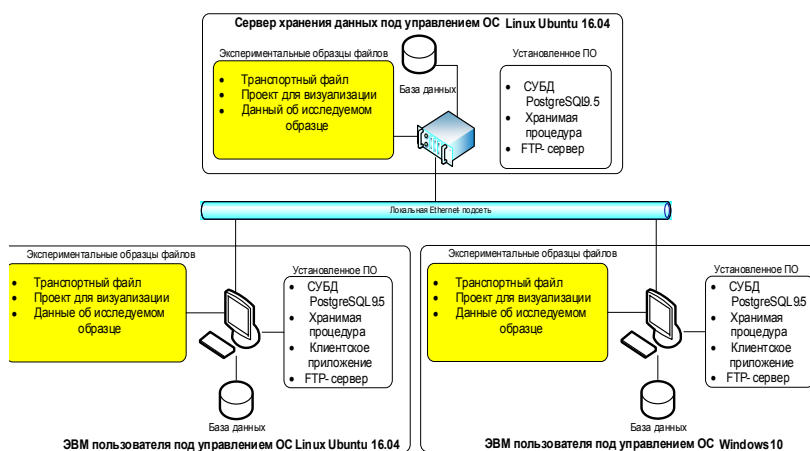


Рис. 1. Схема проведения эксперимента

Из приложения пользователя осуществляется запрос на поиск данных по одному или нескольким атрибутам (с помощью sql-запроса) в СУБД удаленной и локальной СХД. СУБД обрабатывают запросы и осуществляют поиск требуемых данных собственными средствами. В случае нахождения данных на локальном сервере СХД

осуществляется их чтение. Приложение пользователя загружает головной XML-файл и сопутствующие ему файлы эксперимента из файлового каталога эксперимента в рабочую область памяти приложения пользователя. Скопированные XML-файлы должны соответствовать структуре реляционной базы данных. При выполнении этого условия файлы с экспериментальными данными прочитываются и заносятся в БД путем формирования новой записи с помощью SQL-запроса. XML-файл отображается в виде древовидной структуры файлов эксперимента, пользователь нажатием на отображенные в структуре ссылки может загрузить необходимые ему файлы для осуществления навигации по данным, отражающимся в этом исследовании [2].

**Заключение.** Приложение пользователя является кроссплатформенным, предоставляет графический интерфейс пользователя по взаимодействию с данными, расположенными в СХД, выполняет заложенные функции доступа, обработки и визуализации данных.

В ходе проведения экспериментальных исследований алгоритмов системы хранения данных компьютерного томографа пользователи, работающие под управлением операционных систем Windows и Linux, подключались к базе данных, осуществляли поиск данных по проведенным исследованиям, загружали их путем копирования из файлового каталога базы данных в рабочую область приложения пользователя и анализировали XML-файл с помощью XSL-преобразователя, предназначенного для проверки данных [3].

Таким образом, система хранения данных компьютерного томографа обеспечивает хранение и многопользовательский удаленный доступ к экспериментальным данным с возможностью оперативного поиска по набору задаваемых атрибутов, а также выборочную репликацию отдельных записей по соответствующему критерию [4].

Исследования проводились при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации. Соглашение RFMEFI57816X0198.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Deng Y. Deconstructing Network Attached Storage systems // Journal of Network and Computer Applications. – 2012. – Vol. 32, No. 5. – P. 1064–1072.
2. Lu Jiang-Feng, Wang Chun-Yi, Hu Jie. A High Performance Data Storage Method for Embedded Linux Real-time Database in Power Systems // Energy Procedia. – 2012. – No. 16. – P. 883–888.
3. Fedak G., Cappello F., He H. BitDew: A data management and distribution service with multi-protocol file transfer and metadata abstraction [Электронный ресурс] // Journal of Network and Computer Applications. – 2013. – Vol. 32, No. 5. – P. 961–975.



4. Zakharov A.M. et al. Technologies of Distributed Data Storage Systems for Numerical Simulation of Materials // Journal Bulletin of the Lebedev Physics Institute. – 2016. – Vol. 43, No. 12. – P. 56–59 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://doi.org/10.3103/S1068335616120095> (дата обращения: 23.02.2018).

## **КЛАССИФИКАЦИЯ ТИПОВ РАСТЕНИЙ ПО RGB-ИЗОБРАЖЕНИЮ С ПОМОЩЬЮ ТЕКСТУРНОГО АНАЛИЗА**

*М.М. Даднова, студентка*

*Научный руководитель М.Ю. Катаев, проф. каф. АСУ, д.т.н.  
г. Томск, ТУСУР, kty@asu.tusur.ru, mashadad@mail.ru*

Современное сельское хозяйство (СХ) при увеличении масштабов производства и повышении качества продукции требует индустриальных средств контроля состояния и развития растений. Возможным решением этих задач является введение элементов контроля со спутников и беспилотных летающих аппаратов (БПЛА). Для решения задач растениеводства важным средством контроля состояния полей является использование относительно недорогих беспилотных летательных аппаратов, которые несут на своем борту измерительную технику (цифровая камера, тепловизор и др.). Каждое полученное цифровой камерой изображение можно охарактеризовать текстурными признаками [1, 2]. Они описывают «рисунок», «узор» изображения и позволяют учитывать неоднородность яркостей областей пикселей как на малых анализируемых областях, так и на изображении в целом.

Несмотря на повсеместное присутствие текстур в изображениях и их важность, формального подхода к описанию текстуры и строгого ее определения пока не существует, и методы различения текстур, как правило, разрабатываются отдельно для каждого конкретного случая. Вопросам разработки методики различения растений на снимках БПЛА с целью определения фазы (динамики) развития и посвящена данная работа. Такая обработка должна с высокой степенью достоверности определять наличие анализируемого объекта (растения) на изображении, примерное число единиц, приходящих на единицу территории, а также присутствие посторонних объектов и прочих внешних факторов.

Данный проект разрабатывается в ТУСУРе, в Центре космического мониторинга Земли (ЦКМЗ) ТУСУРа. В качестве входных данных программа получает изображение какого-то участка СХ-полей, на которых посажены разного вида растения. Далее в данной статье бу-

дет рассмотрена работа системы и алгоритмов на примере изображений капусты, полученных с борта БПЛА. Данная культура является наиболее простой с точки зрения объекта анализа с типичной текстурой для изучения и тестирования программы, так как истинность результатов легко проверить визуально.

Обработка изображений состоит из нескольких этапов: предварительная обработка, тематическая обработка и анализ. На этапе предварительной обработки проводится перевод изображения в градации серого и потом бинаризуется [3], как это показано на рис. 1.

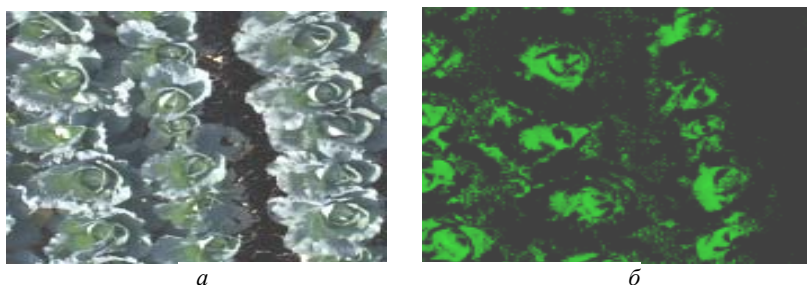


Рис. 1. Перевод исходного изображения в бинаризованный вид:  
*а* – часть исходного изображения, *б* – бинаризованное

Далее для проведения тематической обработки нами выполняется процедура выделения границ объектов (кустов капусты), на основе бинаризованного изображения. Результат представлен на рис. 2.

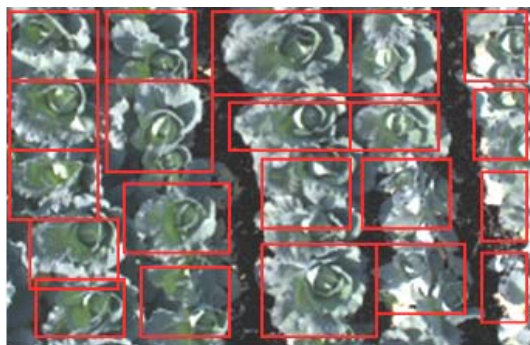


Рис. 2. Выделение растений

Пройдя этапы предварительной обработки, выполняется расчет текстурных коэффициентов для каждого выделенного объекта. Перечень используемых индексов приведен ниже [1, 2]:

- энергия (Energy)  $P1 = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M \left( \frac{I(i,j)^2}{N+M} \right)$ ;
- корреляция (Correlation)  $P2 = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M \left( \frac{i \times j \times I(i,j) - \mu_x \mu_y}{\sigma_x \sigma_y} \right)$ ;
- контраст (Contrast)  $P3 = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M (i-j)^2 \times I(i,j)$ ;
- несходство (Dissimilarity)  $P4 = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M |i-j| \times I(i,j)$ ;
- гомогенность (Homogeneity)  $P5 = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M \left( \frac{I(i,j)}{1-(i-j)^2} \right)$ ;
- энтропия (Entropy)  $P6 = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M (I(i,j) \times \lg(I(i,j)))$ ;
- максимум (Maximum)  $P7 = \max(I(i,j))$ ;
- энергия (Energy)  $P8 = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M I^2(i,j)$ ;
- гомогенность (Homogeneity)  $P9 = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M \left( \frac{I(i,j)}{1+|i-j|} \right)$ .

Для каждого объекта (выделенного куста капусты) составляется таблица со значениями коэффициентов (пример таблицы представлен на рис. 3), которая сравнивается с имеющимся в базе шаблоном.

	1 СНИМОК	2 СНИМОК	3 СНИМОК	4 СНИМОК	5 СНИМОК
P1	3,41502062672456E-06	3,71360665478309E-06	1,99076286032806E-06	2,32930828861062E-06	3,0941551409388E-06
P2	18522,198673849	15373,4158643565	36987,8284645915	29382,9037936564	20354,3400644041
P3	21927,1666666667	26347,6666666667	33340,5	27640	24046,6666666667
P4	127,030120481928	135,727272727273	155,419732441472	142,611806797853	132,374269005848
P5	0,00098755257874759	0,000992026617184282	0,000824473596576256	0,000881385900426367	0,000958954357148202
P6	6,21060007702469	6,20455776256872	6,39359075395068	6,32614947315504	6,24027584517072
P7	0,00200803212851406	0,00202020202020202	0,00167224080267559	0,00178890876565295	0,00194931773879142
P8	0,00200803212851406	0,00202020202020202	0,00167224080267558	0,00178890876565293	0,00194931773879142
P9	0,0224437440040986	0,0223926845817338	0,0192673355171894	0,0204061445826729	0,0218792189524351

Рис. 3. Результат расчета текстурных признаков для нескольких кустов капусты

Как видно из представленного расчета текстурных коэффициентов на рис. 3, они имеют значения одного порядка для каждого объекта и по величине отличаются не более чем в два раза. Нами предлагается использовать эти данные для решения задачи классификации изображения объекта о принадлежности его к одному из заданных видов растения. На основе результатов, полученных ранее, можно рассчитать по каждому коэффициенту  $\{P1-P9\}$  среднее и дисперсию, что будет являться шаблоном. Затем классификация будет проходить, как сравнение данных коэффициентов текущего объекта с коэффициентами шаблона.

При решении задачи классификации за попадание в нужный диапазон значений конкретного коэффициента снимку присваивается балл, равный единице. По завершении расчета баллы суммируются. Если снимок набирает минимум 7 и более баллов, на снимке присутствует искомое растение. Во избежание набора одинакового количества баллов проводится дополнительная проверка сравнения таблиц и их совпадения по маркерам (рис. 4).

	1	2	...	n
P1	Green	Red		
P2	Red	Green		
P3	Green	Red		
P4	Red	Green		
...				
Pk				

Рис. 4. Пример маркированной таблицы

В представленном примере роль маркеров выполняют цвета: красный и зеленый, характеризующий каждый тип растения.

**Заключение.** Готовая система способна анализировать в настоящее время статические изображения, полученные с БПЛА с высоты 5 м. Увеличение высоты получения изображения приводит к ухудшению результата ошибки классификации. Результатом работы системы являются ответы на вопросы: есть ли растение на снимке, что это за растение, число единиц (сколько кустов, колосков и т.д.) растений, состояние растения на данный момент.

Данная работа является подзадачей проекта «Разработка способа и алгоритма классификации и экспресс-оценки пораженности посевов сорняками, заболеваниями, вредителями, по снимкам высокого раз-

решения с БПЛА (квадрокоптера) в потоковом онлайн-режиме» выполняющего в рамках программы «УМНИК2017».

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Гулаков В.К., Трубаков А.О., Огурцов С.Н. Информативная значимость текстурных характеристик на основе матрицы смежности уровней яркости пикселей изображения // Вестник Брян. гос. техн. ун-та. – 2011. – № 2 (30).

2. Колодникова Н.В. Обзор текстурных признаков для задач распознавания образов // Доклады ТУСУРа. – 2004. – С. 113–123.

3. Бинаризация изображений: алгоритм Брэдли. Свободный интернет-ресурс: Хабрахабр. – <https://habrahabr.ru/post/278435>

### МОБИЛЬНОЕ ПРИЛОЖЕНИЕ ДЛЯ ВИЗУАЛИЗАЦИИ МАРШРУТОВ ПО ГОРОДУ И ПЛАНОВ ЗДАНИЙ УНИВЕРСИТЕТОВ

*М.К. Долматова, студентка*

*Научный руководитель М.Ю. Катаев, проф. каф. АСУ, д.т.н.  
г. Томск, ТУСУР, каф. АСУ, [dolmatova.m.k@gmail.com](mailto:dolmatova.m.k@gmail.com)*

Сложно найти человека, который не пользуется картами на своем смартфоне. Их популярность обусловлена тем, что они значительно экономят время на поиск и информирование.

Учитывая тот факт, что смартфоны сравнительно ограничены в ресурсах, следует тщательно спроектировать приложение, чтобы обеспечить его быструю работу в режиме offline (без доступа в Интернет). Особое внимание заслуживает интерфейс – он должен быть максимально простым и предоставлять наиболее подробную информацию без лишних усилий.

В процессе проведения исследований, описанных в [1, 2], было реализовано Android-приложение, основанное на данных OpenStreetMap (OSM), с картой Томска и улучшенной функцией построения маршрутов – в некоторых точках маршрута (перекрестки, остановки, здания и т.д.) добавлены фотографии города для большей наглядности. Подсказки доступны при наличии доступа в Интернет, так как изображения хранятся на сервере Google Cloud Storage (задействован сервис Firebase Storage). Все остальные функции работают offline.

Было проведено тестирование приложения, которое показало хорошие результаты в плане быстродействия и отзывчивости интерфейса, что было достигнуто за счет использования расширений для пространственного поиска в базах данных на основе R-Tree (spatialite), движка маршрутизации GraphHopper, в котором реализован алгоритм

A\* для нахождения кратчайших путей в графе дорожной сети и движка `mapforge`, осуществляющего рендеринг карты. Скриншоты приложения приведены на рис. 1.

На данном этапе идет реализация функции построения маршрутов общественного транспорта на основе данных GTFS, сбор фотографий (подсказок к маршрутам) и их размещение в хранилище `Firebase`, а также разработка интерфейса и оптимизации функции поиска.

Также осуществляется добавление поэтажных планов зданий. Для этого необходимо сделать их разметку в файлах `.GeoJSON`, где элементы зданий (комнаты, двери, коридоры, лестницы) заданы геометрическим примитивами – `Point`, `LineString`, `Polygon`, `MultiPoint`, `MultiLineString`, `MultiPolygon`. Разметка осуществляется в редакторе OSM-данных `JOSM`, при этом используется схема простого тегирования помещений (`Simple Indoor Tagging`) [3], затем экспортируется в `.GeoJSON`. Для отображения поэтажных планов нужно применить возможности движка `mapforge-vtm` – создать из `.GeoJSON` файла и добавить на карту слой `OSMIndoorLayer`, позволяющий переключаться между этажами.

После завершения реализации всех функций планируется разместить приложение на `GooglePlay` для его распространения, ссылаясь при этом на источник данных `OpenStreetMap`.



Рис. 1. Скриншоты приложения

## ЛИТЕРАТУРА

1. Конькин С.В., Шестаков Н.А. Картографическое веб-приложение для отображения планов зданий на карте города // Информатика и управление в

технических системах: матер. 19-й Междунар. науч.-практич. конф. «Современные техника и технологии», 15–19 апр. 2013 г. – Томск: НИТПУ, 2013. – С. 262–263.

2. Dolmatova M. Map design for Android devices with improved routing and floor plans // International Conference on Computer Technology and Science. December 21th, 2017. – USA: Boston. – P. 11–17.

3. Simple Indoor Tagging [Электронный ресурс] // OpenStreetMap Wiki. – URL: [https://wiki.openstreetmap.org/wiki/Simple\\_Indoor\\_Tagging](https://wiki.openstreetmap.org/wiki/Simple_Indoor_Tagging)

## ВЫДЕЛЕНИЕ СЕЗОННОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ ВАЛЮТНОГО КУРСА

*С.М. Киселев, аспирант*

*Научный руководитель М.Ю. Катаев, проф. каф. АСУ, д.т.н.  
г. Томск, ТУСУР, каф. АСУ, kiselev.sergey.m@yandex.ru*

Движение цены на валютном рынке может прогнозироваться на разных временных интервалах. Основное движение валютного курса, называется трендом. Формирующаяся тенденция отклоняется от основного своего направления в зависимости от экономических, политических и форс-мажорных обстоятельств. Наиболее крупные предприятия, которые существенно воздействуют на общую экономику страны или сезонные ожидаемые события, которые повторяются из года в год, могут вносить корректировку в тенденцию в виде сезонных закономерностей. Наша задача – выявить сезонную составляющую временного ряда валютного курса EUR/USD.

**Выделение трендовой составляющей.** Временной ряд можно описать с помощью аддитивной модели [1] по формуле (1), где  $Ft$  – трендовая составляющая,  $Fs$  – сезонная составляющая;  $Fn$  – шум.

$$F(x) = Ft + Fs + Fn. \quad (1)$$

В качестве данных для эксперимента были выбраны месячные котировки 2015, 2016 и 2017 гг. В работе [2] описаны наиболее популярные виды трендов. В таблице приведены коэффициенты детерминации по типам тенденции для каждого года в отдельности.

**Коэффициенты детерминации каждого года по виду тренда**

	2015	2016	2017
Линейный	0,3764	0,084	0,8719
Экспоненциальный	0,3769	0,0863	0,871
Полиномиальный	0,4441	0,7236	0,8871
Логарифмический	0,5483	0,002	0,7972
Степенной	0,5411	0,0024	0,8016

Удалим из каждого года основную тенденцию и отобразим движение временных рядов на рис. 1.



Рис. 1. Временные ряды 2015, 2016 и 2017 гг. без трендовой составляющей

Посмотрев на рис. 1 можно увидеть некую закономерность. Наблюдается, что летом и в конце года доллар ослабевает по отношению к евро. Чтобы более выявить более точные сезонные корреляции, рассмотрим методы выделения сезонной составляющей.

**Выделение сезонной составляющей.** Для более точного анализа возьмем недельные котировки каждого года (рис. 2).

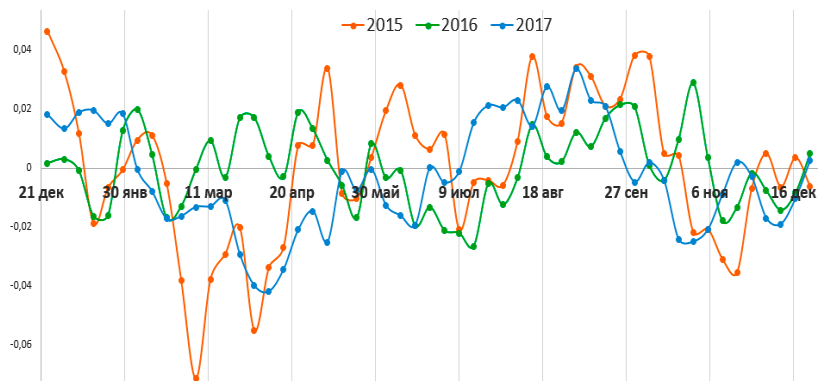


Рис. 2. Недельные цены закрытия 2015, 2016 и 2017 гг.

Из-за присутствия шумовой составляющей графики кажутся полностью хаотичными. Для выделения сезонной составляющей обрабатываем сигналы с помощью методов аппроксимации временных рядов.

**Сингулярный спектральный анализ.** Метод применяется в решении различных задач [3, 4]. В основе сингулярного спектрального анализа лежит преобразование одномерного временного ряда в многомерный посредством свертки и применение к полученному ряду метода главных компонент.



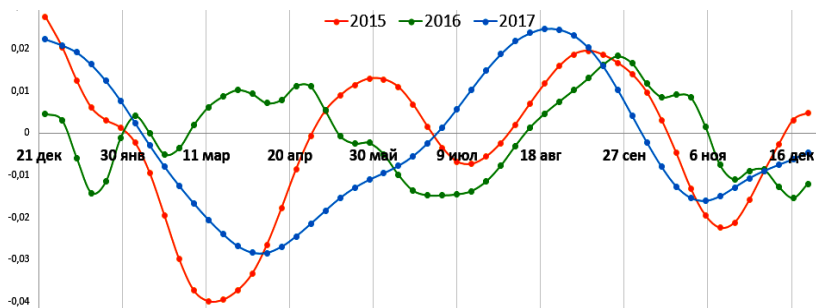


Рис. 3. Аппроксимация методом сингулярно-спектрального анализа

**Вейвлет-преобразование.** Метод широко используется на практике обработки сигналов, изображений, временных рядов, благодаря возможности обработки структуры неоднородных временных рядов [5]. В работе [6] отображено сравнение вейвлет- и Фурье-преобразования. Преимущество вейвлета от оконного преобразования Фурье в том, что размер окна, в рамках которого происходит преобразование, зависит не только от времени, но и от частоты.

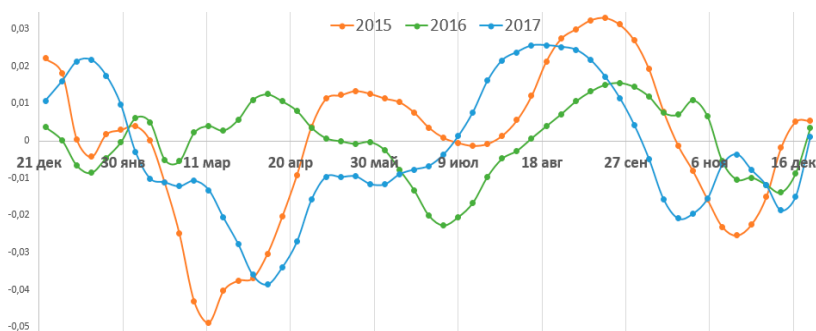


Рис. 4. Аппроксимация методом вейвлет-преобразования

Из графиков на рис. 3 и 4 можно увидеть некое схожее волнообразное движение каждого графика по временам года. Видно, что каждый год преимущественно начинается с укрепления доллара и ситуация сохраняется вплоть до начала весны. Под конец весны ситуация на рынке утихает и в начале лета начинается укрепление евро, что влечет восходящее движение. В конце лета и начале осени – вновь затишье, и в декабре под конец года – вновь восходящее движение.

Сравним результаты с 2008 г. как наиболее нестабильного экономического года (рис. 5).

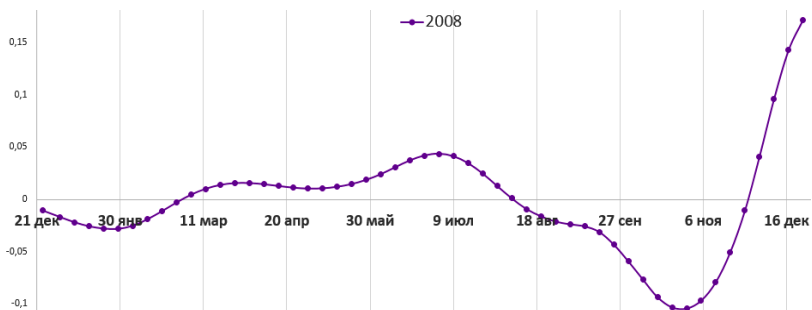


Рис. 5. Аппроксимация 2008 г. методом сингулярно-спектрального анализа

Из графика на рис. 5 видно, что даже в экономический кризис, когда есть явно выраженный тренд, цена имеет свою сезонную закономерность, не такую выраженную, но имеет. Год традиционно начинается с нисходящего движения. Летом, как и в другие годы, – преимущественно восходящее движение, осенью преобладает нисходящее, а в конце года вновь тенденция стремится вверх.

Результаты эксперимента показали, что сезонность на валютном рынке есть, и даже в кризисные годы она сохраняется. Для финансового аналитика не так важна причина сезонности, как факт ее присутствия.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Новиков А.И. Эконометрика: учеб. пособие. – М.: ИНФРА-М, 2007. – 144 с.
2. Светульников И.С. Методы социально-экономического прогнозирования: учебник для вузов. – Т. II. – СПб.: Изд-во СПбГУЭФ, 2009. – 449 с.
3. Мартко Е.О., Белицын И.В. Сингулярный спектральный анализ как метод моделирования электрической нагрузки [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://elibr.altstu.ru/elibr/books/Files/pv2009\\_04/pdf/076martko.pdf](http://elibr.altstu.ru/elibr/books/Files/pv2009_04/pdf/076martko.pdf)
4. Кашкин В.Б., Рублева Т.В. Применение сингулярного анализа для выделения слабо выраженных трендов // Известия Том. политехн. ун-та [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.lib.tpu.ru/fulltext/v/Bulletin\\_TPU/2007/v311/i5/23.pdf](http://www.lib.tpu.ru/fulltext/v/Bulletin_TPU/2007/v311/i5/23.pdf)
5. Гринь Н.Ю. Применение дискретных вейвлет-преобразований Хаара для распознавания зашумленных изображений с помощью модифицированного алгоритма Юра – Фосслера / Н.Ю. Гринь, В.Я. Гальченко // Штучный интеллект. – 2004. – №1. – С. 159–166.
6. Сравнительный анализ Фурье и вейвлет-преобразование для анализа сигнала фотоплетизмограммы / Максимчук И.В., Гергель Л.Г., Осадчий О.В. Национальный технический университет «Киевский политехнический институт» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://web.snauka.ru/issues/2013/06/25060>

## **ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ КЛАССИФИКАЦИИ ОБЛАЧНОСТИ ПО СПУТНИКОВЫМ ДАННЫМ MODIS**

*О.П. Мусиенко, магистрант*

*Научный руководитель В.Г. Астафуров, проф. каф. АСУ, д.ф.-м.н.  
г. Томск, ТУСУР, каф. АСУ, musienkoop@gmail.com*

Дистанционное зондирование Земли (ДЗЗ) [1] из космоса в настоящее время получило широкое распространение. Данные ДДЗ применяют для исследований Земли, водной поверхности и атмосферы, в том числе и для анализа облачных полей [2]. Результаты исследований применяются во многих отраслях: метеорологии, климатологии, экологии, лесном и сельском хозяйствах [3]. Кроме того, информация о типах облачности используется для прогнозирования погоды, моделирования климата и обеспечения безопасности полетов воздушных судов [4]. Согласно метеорологическому стандарту облачность классифицируется по трем ярусам, в каждом из которых по 9 типов [5].

Данные ДДЗ о глобальном поле облачности представлены в работе снимками спектрорадиометра MODIS [6] с пространственным разрешением 250 м и физическими параметрами облачности, извлекаемыми из продукта MODIS MOD06\_L2 [7]. При обработке изображений облачности анализируется их текстура [8]. В данной работе используются текстурные признаки, рассчитанные по методам GLDV, GLCM, SADH, ODSH [9]. Для классификации облачности на спутниковых снимках строятся статистические модели текстурных признаков изображений облачности и ее физических параметров для каждого типа облачности.

Целью данной работы является проектирование и реализация программного комплекса для классификации облачности на спутниковых снимках на основе статистических моделей текстурных признаков изображений облачности и ее физических параметров.

Для решения поставленной задачи необходим достаточно большой объем тестовой информации о характеристиках различных типов облачности. Для ее хранения и систематизации спроектирована и реализована база данных (БД) в СУБД [10] Microsoft Access. БД встроена в программный комплекс, позволяющий формировать необходимые статистические модели и реализованный на языке программирования высокого уровня C# с использованием библиотеки ADOdb.

Классификация образов по типам на изображении – достаточно сложная задача, одним из инструментов для решения которой являются нейронные сети [11]. В работе использовался гибридный классификатор, основанный на совместном применении технологии искусст-

венных нейронных сетей и методов нечеткой логики, то есть нейронечеткая сеть или адаптивная сеть на основе системы нечеткого вывода [11]. Обучение сети производилось по алгоритму обратного распространения ошибки. Так как обучение нейронной сети – процесс ресурсозатратный, то для его реализации было решено использовать платформу CUDA для параллельных вычислений на графическом процессоре, а именно библиотеки, написанные на языке высокого уровня: C++, cuda.h и cuda\_runtime.h.

Разрабатываемый программный комплекс состоит из следующих компонент: нейронная сеть, БД, программа для взаимодействия с БД. На рис. 1 представлена схема взаимодействия компонент внутри программного комплекса.

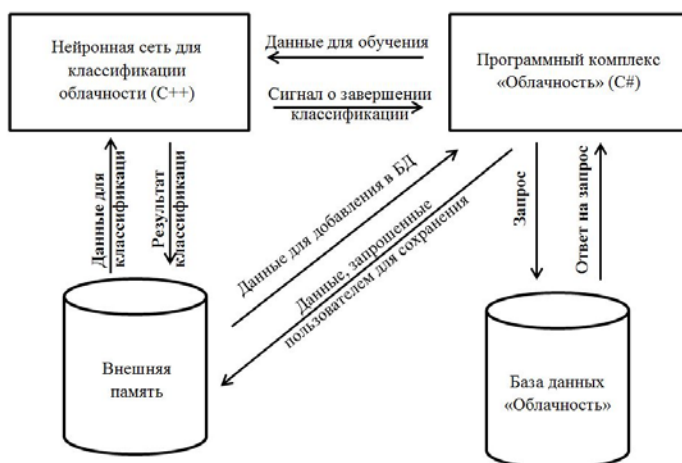


Рис. 1. Схема взаимодействия компонент программного комплекса

Так как модуль взаимодействия с БД и нейронная сеть реализованы на разных языках программирования, необходимо обеспечить их интеграцию. Для решения этой задачи использовалась технология P/Invoke Interop, которая позволяет обращаться к структурам и функциям в неуправляемых библиотеках C++ из управляемого кода C#.

Получены следующие результаты:

1. Спроектирована и реализована БД для систематизации, хранения и накопления информации, необходимой для разработки и функционирования программного комплекса для классификации облачности.
2. Построены статистические модели текстурных признаков изображений облачности и ее физических параметров.

3. Реализован модуль взаимодействия с БД, включающий в себя следующие функциональные возможности: добавление данных, просмотр данных и сохранение необходимой информации во внешний файл, построение статистической модели текстурных признаков изображений облачности и ее физических параметров на основе информации, содержащейся в БД.

4. Отлажена интеграция между модулем, реализующим нейронную сеть, и модулем взаимодействия с БД на основе технологии P/Invoke Interop.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Дейвис Ш.М., Ландгребе Д.А., Филлипс Т.Л. и др. Дистанционное зондирование: количественный подход / Под ред. Ф. Свейна и Ш. Дейвис. Пер. с англ. – М., Недра, 1983. 415 с. – Пер. изд. США, 1978, 396 с.

2. Матвеев Л.Т. Курс общей метеорологии. Физика атмосферы. – 2 изд., перераб. и доп. – Ленинград, Гидрометеиздат, 1984. – 751 с.

3. Наац В.И., Наац И.Э. Математические модели и численные методы в задачах экологического мониторинга атмосферы.

4. Зубков Б.В. Основы безопасности полетов. – М.: Транспорт, 1987. – 143 с.

5. Беспалов Д.П. и др. Атлас облаков / Федер. служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет). Гл. геофиз. Обсерватория им. А.И. Воейкова; ред.: Л.К. Сурыгина. – СПб.: Д'АРТ, 2011. – 248 с.

6. About MODIS. [Электронный ресурс]. – URL: <http://modis.gsfc.nasa.gov/about/index.html>.

7. Discriminating clear-sky from cloud with modis algorithm theoretical basis document (MOD35) [Электронный ресурс] – URL: [http://eosps.nasa.gov/sites/default/files/atbd/atbd\\_mod06.pdf](http://eosps.nasa.gov/sites/default/files/atbd/atbd_mod06.pdf)

8. Харалик Р.М. Статистический и структурный подходы к описанию текстур // Журнал. – [б.м.]: ТИИЭР, 1979. – №. 5 : Т. 67. – С. 98–120.

9. Евсюткин Т.В. Текстурные признаки. Обзор методов текстурного анализа, подходов формирования признакового пространства и критерии информативности. – IAO SB RAS, 2012. – 60 с.

10. Сибилёв В.Д. Проектирование баз данных: учеб. пособие. – Томск. ТУСУР, 2007. – 201 с.

11. Круглов В.В., Дли М.И., Голунов Р.Ю. Нечеткая логика и искусственные нейронные сети. – М.: Физматлит, 2001. – 224 с.

# РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ГЕТЕРОГЕННОЙ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ НА ОСНОВЕ САМОНАСТРАИВАЮЩЕЙСЯ СЕТИ С РЕТРАНСЛЯЦИЕЙ

*М.А. Пищук, студент каф. УИ;*

*П.Г. Нестеренко, вед. спец. ООО «ЭлеТим»*

*Научный руководитель А.М. Кориков, зав. каф. АСУ, д.т.н.*

*г. Томск, ТУСУР, pishchukmariya@mail.ru*

Компанией ООО «ЭлеТим» была поставлена задача реализации системы беспроводной передачи данных на основе самонастраивающейся сети с ретрансляцией. Самонастраивающаяся сеть представляет собой некую сетевую магистраль с элементами автоматической настройки параметров, по которой проходят данные [1], а ретрансляция подразумевает прием и последующую передачу данных через промежуточное устройство [2].

В таблице рассмотрены особенности некоторых известных беспроводных сетей. Ближе всего к концепции алгоритма передачи данных разрабатываемой системы – Wireless HART, поддерживающий оборудование разных производителей и использующий самоорганизующуюся и самовосстанавливающуюся ячеистую архитектуру.

## Примеры беспроводных сетей

Название	Особенности соединения
ZigBee	Поддерживает простые топологии сети, самоорганизующуюся и самовосстанавливающуюся ячеистую топологию с ретрансляцией и маршрутизацией сообщений [3]
LoRaWAN	Низкая скорость, низкая цена, топология «звезда». Простая архитектура сетей: без ретрансляторов, без mesh-сетей [4]
Wireless HART	Использует синхронизированную во времени, самоорганизующуюся и самовосстанавливающуюся ячеистую архитектуру. Поддерживает оборудование разных производителей. Создан в соответствии с требованиями сетей полевых устройств (Rosemount 702) [5]

На рис. 1 представлена схема разрабатываемой системы.

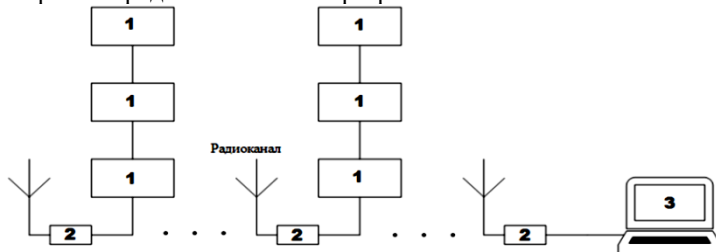


Рис. 1. Схема разрабатываемой системы

Создаваемая сеть реализуется как беспроводная ячеистая топология. Алгоритм работы сети должен соответствовать схеме, изображенной на рис. 2. Здесь объекты 1–4 являются устройствами беспроводной передачи данных. В случае когда устройство 1 не может напрямую связаться с устройством 4, то их связь будет происходить последовательно через устройства-посредники 2 и 3.

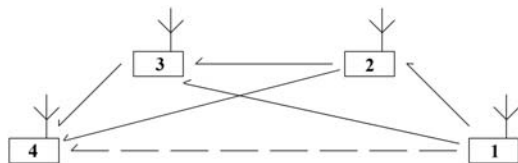


Рис. 2. Схема самонастраивающейся сети с ретрансляцией

Обобщенный автомат состояний представлен на рис. 3.



Рис. 3. Обобщенный автомат состояний системы

После подачи питания система переходит в состояние настройки, в котором устанавливаются параметры работы системы. После настройки система переходит в состояние проверки связи, в котором устройство-опросчик («Master») устанавливает связь с устройствами системы. После проверки связи система переходит в рабочий режим: происходит опрос подчиненных устройств с последующим сбором данных. Состояние «работа» также подразумевает под собой работу системы в момент простоя и в момент проверки связи, которая происходит каждые  $n$  секунд.

На рис. 4 представлена схема алгоритма установки связи: изображены три области, в каждой из которых устройства могут установить связь друг с другом. Предположим, устройство-опросчик «Master» не может напрямую связаться с устройством 1. Следовательно, связь будет установлена с помощью ретрансляции. На схеме «Master» отправляет запрос «Ты на связи?» доступным устройствам. Получив положительный ответ от устройства, например устройства 3, «Master» отправляет на него следующий запрос, который направляет подчиненное устройство 3 связаться с доступными ему устройствами. Далее последовательно, путем отправки запросов аналогично «Master», устройство 3 связывается с устройством 2, которое является доступным удаленному от «Master» устройству 1. После установки связи устройство 1 может передать данные «Master» через ретрансляторы 2 и 3.

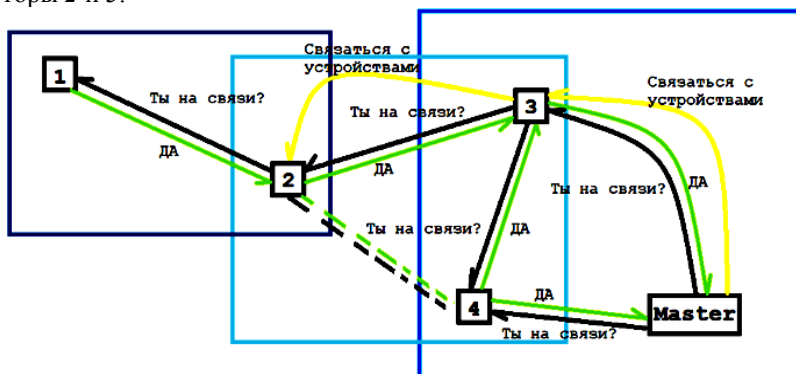


Рис. 4. Алгоритм установки связи

Первая реализация алгоритма передачи данных системы с помощью макетов беспроводных устройств представлена на рис. 5.

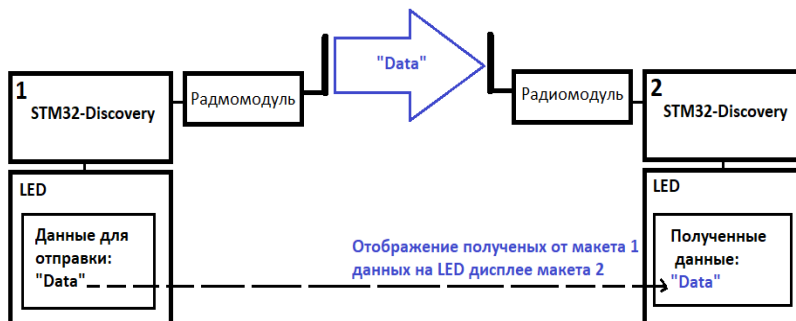


Рис. 5. Реализация алгоритма



Здесь макет 1 представляет собой подчиненное устройство, макет 2 – устройство-опросчик. После того как макет 2 проверит наличие связи с макетом 1, макет 2 отправляет запрос макету 1, в котором просит передать информацию, в данном случае – строку символов. После получения запроса макет 1 по радиомодулю отправляет строку символов на макет 2. Полученная строка отображается на LCD-дисплее макета-опросчика.

Таким образом, проведен анализ аналогов беспроводных сетей, разработана схема-алгоритм работы самонастраивающейся сети, а также разработан макет беспроводного устройства.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Самонастраивающиеся сети [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://nag.ru/articles/reviews/16671/realnaya-multiservisnost.html> (дата обращения: 09.02.18).
2. Ретранслятор [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Ретранслятор> (дата обращения: 09.02.18).
3. ZigBee [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/ZigBee> (дата обращения: 26.02.18).
4. Сети передачи данных на большие расстояния LoRaWan [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://gamma.spb.ru/media/pdf/masters2015/LORA.pdf> (дата обращения: 01.02.18).
5. Беспроводной преобразователь дискретного сигнала Rosemount 702 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www2.emersonprocess.com/siteadmincenter/pm%20rosemount%20documents/00813-0107-4702.pdf> (дата обращения: 9.02.18).

### НЕЧЁТКАЯ СИСТЕМА ВЫБОРА МОДЕЛИ РАЗРАБОТКИ ПРОГРАММНОГО ПРОДУКТА

*М.А. Журавлёв, студент*

*Научный руководитель Ю.П. Ехлаков, проф., зав. каф. АОИ, д.т.н.  
г. Томск, ТУСУР, [ure@tusur.ru](mailto:ure@tusur.ru)*

Промышленное производство программных продуктов (ПП) предполагает обязательное использование стандартов на процессы жизненного цикла (ЖЦ) программных продуктов и моделей жизненного цикла программного продукта (последние описаны в работах [1–2]), и в ходе разработки плана реализации каждого конкретного проекта перед менеджером непременно встаёт задача выбора наиболее подходящего стандарта и модели жизненного цикла разработки.

В настоящее время в литературе встречаются несколько подходов к решению данной задачи, описанных в работах [2–4]. Они преду-

смаатривают, что модели ЖЦ могут характеризоваться эталонным набором сгруппированных признаков.

В такой постановке представленная в [3] методика может быть сведена к классической задаче классификации многомерных объектов, поскольку предполагается, что программный проект описывается набором характеристик, объединённых в несколько групп, каждая из которых имеет свой относительный вес. В этом случае для повышения объективности сравнения характеристик можно перейти от дихотомической шкалы к интервальным оценкам с несколькими градациями. Однако на практике эксперт не всегда может чётко определить границы интервалов, поэтому более целесообразным является использование математического аппарата нечеткой логики, поскольку речь идёт об определении соответствия проекта той или иной модели с помощью нечёткого классификатора [5–6].

Пусть множество моделей ЖЦ ПП есть набор классов  $R = \{r_1, \dots, r_i, \dots, r_w\}$ , а классифицируемый программный проект есть объект  $O$ .

Тогда с учётом определений, описанных в работах, алгоритм выбора модели ЖЦ ПП будет представлять собой следующий набор последовательных действий:

1. Для объекта  $O$  определить набор информационных признаков  $X_O = \{I_1^O = \{x_{11}^O, \dots, x_{1k}^O, \dots, x_{1n_1}^O\}, \dots, I_j^O = \{x_{j1}^O, \dots, x_{jk}^O, \dots, x_{jn_j}^O\}, \dots, I_g^O\}$ , где  $g$  – число групп признаков.

2. Каждому информационному признаку  $x_{jk}$  поставить в соответствие лингвистическую переменную  $A_{jk}$ , которая будет содержать в себе терм-множество {«да», «нет»}. Имена этих переменных имеют вид утверждений, с помощью которых эксперт может описать тот или иной программный проект.

3. Разбить набор лингвистических переменных  $A_{jk}$  на группы по индексу  $j$ .

4. Экспертным методом определить эталонные значения всех лингвистических переменных во всех группах для каждого класса  $r$ .

5. Для каждой группы признаков создать набор правил нечёткого вывода следующего вида:

Если  $A_{jk} = a_{jk}$ , то

$$\mu_{r_1}^j(O) = \eta_1^{h_j} \text{ и } \mu_{r_2}^j(O) = \eta_2^{h_j} \text{ и } \dots \text{ и } \mu_{r_w}^j(O) = \eta_w^{h_j}, \quad (1)$$

где  $a_{jk}$  – значение переменной  $A_{jk} \in A$  в группе характеристик  $j$  ( $k \in [1, n_j]$ ), выраженное термом;  $n_j$  – число характеристик в группе  $j$ ;  $w$  – число классов;  $h$  – номер правила;  $h = \overline{1, H_j}$ , где  $H_j$  – число правил в груп-

пе  $j$ ;  $r_y$  – модель  $y$  из множества  $R$ ;  $y \in [1, w]$ ;  $\eta_y^{hj}(O)$  – степень принадлежности объекта  $O$  классу  $r_y$  по группе признаков  $j$  по правилу  $h$  ( $y \in [1, w]$ ,  $h = \overline{1, H}$ ,  $\eta_y^{hj} \in \{0;1\}$ ).

6. Оценить объект  $O$  путём задания его атрибутам  $x_{jk}$  числовых значений в промежутке  $[0; 1]$ .

7. Произвести для каждой группы признаков нечёткий логический вывод, основываясь на правилах (1).

8. Ввести для каждой группы признаков относительный вес  $\alpha_j$  такой, что  $\sum_{j=1}^g \alpha_j = 1$ , и найти взвешенное среднее всех элементов векторов степеней принадлежности и тем самым получить *один* вектор.

9. Определить из результирующего вектора класс-«победитель» как класс с наибольшей степенью принадлежности (соответствия), тем самым отнести объект  $O$  к этому классу.

Нечёткие множества, соответствующие термам «да» и «нет», являются дополнением друг друга. Функции принадлежности термов, отвечающие данным требованиям, проиллюстрированы на рис. 1.

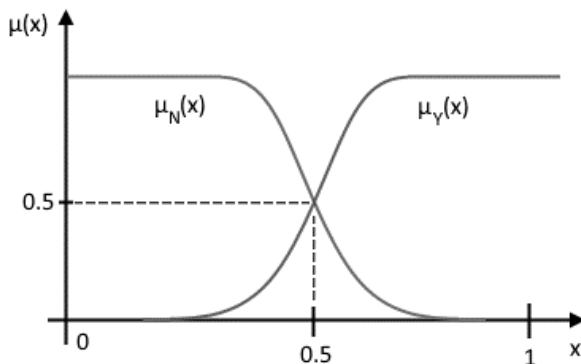


Рис. 1. График функции принадлежности для нечётких множеств «да» ( $Y$ ) и «нет» ( $N$ )

Новый алгоритм позволяет сделать процесс решения данной задачи более гибким по сравнению с оцениванием в дихотомической шкале, а также учитывает возможное незнание менеджером точного ответа на вопрос, при этом технически менеджер задаёт только одно значение для каждой характеристики. На его основе можно создать программный продукт, выдающий рекомендации по выбору модели жизненного цикла разработки программного продукта, который может быть полезен, например, при обучении менеджеров проектов.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Бобров Л.К., Савиных Н.Н., Бабченко Г.Л. Обоснованный выбор модели жизненного цикла как фактор повышения качества разработки информационных систем. – 2009. – 7 с.
2. Петренко М.И. Метод выбора модели жизненного цикла создания корпоративной информационной системы на основании количественной оценки требований к характеристикам системы и процессу ее создания // Статистика и экономика. – 2014. – № (5). – С. 189–194.
3. Фатрелл Р.Т. Управление программными проектами. Достижение оптимального качества при минимуме затрат / Р.Т. Фатрелл, Д.Ф. Шафер, Л.И. Шафер. – М.: Изд. дом «Вильямс», 2004. – 1136 с.
4. Савиных Н.Н., Бобров Л.К. Сравнительный анализ методик выбора модели жизненного цикла. – М.: Новосиб. гос. ун-т экономики и управления «НИНХ», 2012. – 10 с.
5. Заде Л. Понятие лингвистической переменной и ее роль в принятии приближенных решений. – М.: Мир, 1976. – 168 с.
6. Рыжов А.П. О качестве классификации объектов на основе нечётких правил // Интеллектуальные системы. – 2005. – Т. 9, вып. 1-4. – С. 253–264.

## ИНТЕГРАЦИЯ ПРОМЫШЛЕННОГО ОБОРУДОВАНИЯ В СЕТЕВУЮ МОДЕЛЬ ОБМЕНА ДАННЫМИ НА ОСНОВЕ КОНТРОЛЛЕРОВ MODICON M251

*А.Б. Михайлов, магистрант каф. ТПС*

*Научный руководитель С.Д. Третьяков, доцент каф. ТПС, к.т.н.*

*г. Санкт-Петербург, ИТМО, tretiacov@gmail.com,*

*alex.mikhaylov@mail.ru*

Современное производство требует от оборудования и сетевой архитектуры высокого качества передачи информации и требуемой степени отказоустойчивости. Всё это обусловлено большими объёмами данных, создаваемых на первом уровне производственных систем многочисленными миниатюрными датчиками. Для реализации межмашинной коммуникации и приложений необходимо обеспечить совместную работу множества сетей различных технологий и протоколов доступа в гетерогенной конфигурации [1].

Наша задача – реализовать распределённую архитектуру, включив в её основу промышленный контроллер Modicon M251. Данная структура воплощается не только путём включения высокопроизводительного оборудования, но и созданием такой сетевой архитектуры, которая позволит обеспечить высокую степень коммуникации между имеющимися производственными агентами. С этой целью разворачиваем сетевую модель обмена информацией с обязательным включением в неё промышленных контроллеров от Schneider Electric и версий исполнения не менее 251. Ограничение в использовании промышлен-

ных контроллеров не ниже указанной версии обусловлено наличием в них двухъядерной архитектуры, где одно ядро отвечает за коммуникации, второе – за задачи PLC. Это означает, что каким бы нагруженным не был поток обмена данными по Ethernet, на общую задачу он никак не влияет, поскольку ядра промышленного контроллера Modicon M251 работают независимо. Подобное решение играет ключевую роль в случае обмена большими объёмами данных, когда в процессе работы время задачи начинает увеличиваться, т.е. контроллеру требуется больше времени на коммуникацию. В большинстве промышленных применений данная проблема имеет критическое значение [2].

В реализуемой нами распределённой архитектуре первый Ethernet-порт контроллера обращаем во внешнюю среду для обращения к SCADA, а также ряду других систем высокого уровня. На втором Ethernet-порте реализуем Industrial Ethernet manager – общение с внутренними устройствами-агентами, в частности, на нём исполняем заданные программы и осуществляем обмен данными вверх и вниз по иерархии между членами сети.

На практике осуществляем подключение четырнадцати производственных агентов: семь – напрямую, остальные семь – через модуль расширения. Для удобства управления полученной системой добавляем модуль-дисплей и формируем для него Java апплет, что в дальнейшем позволяет графически визуализировать все процессы и инструментарий управления.

В первом случае реализуем сетевой протокол CANopen на базе Ethernet-порта номер два для создания структуры с агентами – промышленными конвейерами. Преимущество такого решения – возможность построения шинной структуры между конвейерами по Ethernet через CANopen, где при этом пропадает необходимость протягивать отдельный Ethernet-канал к каждому контроллеру, поскольку это на сегодняшний день единственная шина, за исключением Profibus от Siemens, в которой мы можем гарантировать точное время опроса, зная физическую скорость на шине, количество устройств и параметров для считывания. Контроллер позволяет реализовать подобное подключение, поскольку его заданное быстродействие рассчитано на поддержание до 100 ПИД-регуляторов с генератором случайного псевдовоздействия – 2,7 мс и наличии быстрых входов на 200 кГц.

Во втором случае, реализуя сетевую модель, подключаемся посредством порта Ethernet 2 по Profibus к оборудованию, поставляемому компанией Siemens. В нашей работе мы используем открытый коммуникационный протокол Modbus. В Modicon M251 Modbus-сервер всегда активен, принимая все входящие обращения по порту 502. При построении сетевой модели мы убедились, что, работая в

качестве сервера, Modbus TCP исключает необходимость дополнительного вмешательства со стороны ответственных специалистов. Достаточно объявить соответствующие переменные по адресам и передать эти адреса тем агентам, что готовы их считывать. С другой стороны, для работы в качестве клиента необходимо настроить Industrial Ethernet manager через порт 251 (1 и 2 Ethernet). В данном случае сдвоенный порт контроллера выполняет функцию switch (переключателя). Подобное решение помогает избежать построения топологии сети «звезда» со всеми её недостатками. Для этого на первом порте требуется задать функцию Enable IP forwarding. Тогда мы получаем возможность чтения второй сети посредством порта 251 из первой сети. Такая схема работает даже на пустом контроллере (контроллер не запрограммирован) при условии настройки двух адресов от Ethernet 1 и Ethernet 2.

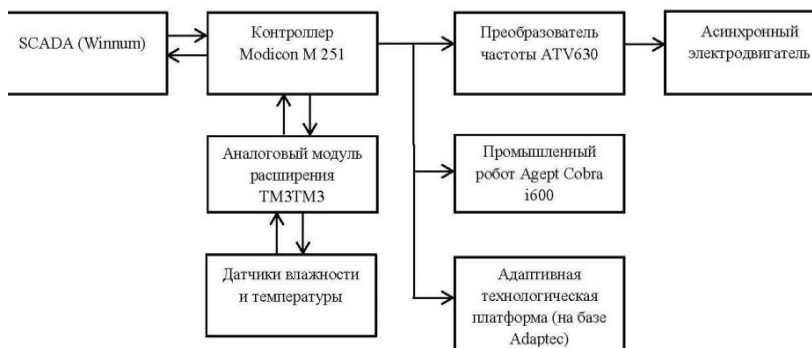


Рис. 1. Блок-схема стенда лаборатории киберфизических систем

Описанный выше подход будет реализован при создании лаборатории киберфизических систем на факультете систем управления и робототехники университета ИТМО. Блок-схема стенда лаборатории представлена на рис. 1. Преимущество подобного решения можно увидеть и в других областях на примере работы механической типографской машины, осуществляющей четырёхстороннюю печать. Валы устройства требуют постоянной синхронизации, и для изменения передаточного числа необходимо около двух часов. Однако, разработанное решение позволило уменьшить время перенастройки типографской машины до двадцати минут.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Росляков А.В. Интернет вещей / А.В. Росляков, С.В. Ваяшин, А.Ю. Гребешков. – Самара: ПГУТИ, 2015. – 200 с.
2. Диммлер Г., Фритц Х., Фрешль Д., Хеглинггер В., Керн А. «Умные» заводы на платформе OPC UA // Полимерные материалы. – 2017. – №3. – С. 18–23.

## **ПОДСЕКЦИЯ 3.2**

### **РАСПРЕДЕЛЁННЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И СИСТЕМЫ**

*Председатель – Сенченко П.В., декан ФСУ,  
доцент каф. АОИ, к.т.н.*

#### **СИСТЕМА РАСПРЕДЕЛЕННОГО ХРАНЕНИЯ И ДОСТУПА К ДАННЫМ АППАРАТНО-ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ДИСТАНЦИОННОГО ПОИСКА И МОНИТОРИНГА МЕСТОРОЖДЕНИЙ УГЛЕВОДОРОДОВ**

*Е.А. Бажукова, техник ЛХТ НУ*

*Научный руководитель А.В. Обходский, с.н.с. ЛХТ НУ, к.т.н.  
г. Томск, ТГУ, baschukova94@mail.ru*

Залежи углеводородов обычно находятся в пластах или массивах горных пород, имеющих различное распространение под землей и часто – различные геолого-физические свойства. Во многих случаях отдельные нефтегазоносные пласты разделены значительными толщами непроницаемых пород или находятся только на отдельных участках месторождения.

Решение комплекса проблем поиска, разведки и разработки шельфовых месторождений углеводородов возможно за счет комплексирования методов и данных в единой расчетной модели для анализа месторождений.

Наполнение информационной базы данными сейсморазведки и геохимического анализа может осуществляться с помощью специализированных приборов. Результаты измерений, сохраняемые в базе данных, могут применяться в качестве исходных для расчетной модели и поддержки принятия решений при разведке углеводородных месторождений в труднодоступных регионах и сложных природно-климатических условиях [1].

Цель работы состояла в создании системы хранения данных для функционирования программно-аппаратного комплекса дистанционного поиска и мониторинга месторождений углеводородов.

Важность сохранения информации, возможность доступа к данным и управления ими обуславливает актуальность работы, так как

большое количество данных, получаемых в результате обследования разных территорий, являются неструктурированными.

**Разработка физической и логической структур базы данных.** Проектирование структуры базы данных начинается с определения основных таблиц и атрибутов. Для этого были учтены методы дистанционного поиска и мониторинга, а также алгоритмы обработки сырых данных, которые будут использоваться в разрабатываемом программно-аппаратном комплексе. Помимо прочих факторов, также учитывалась кроссплатформенность используемых вычислительных ресурсов для обработки данных [2, 3].

При взаимодействии с системой хранения данных пользователь должен иметь возможность, сформировав команду для сервера, получить доступ к исходным данным, а также к набору алгоритмов их обработки [4]. Для доступа к полной информации о месторождении в каждой ветке были сформированы поля с метаданными, описывающими это месторождение.

С целью минимизации объема отдельных таблиц каждому полю было присвоено уникальное обозначение [5]. При этом обозначения выбирались с учетом сохранения логической связи с названиями полей. Например, поле «Deposit name» обозначено символами «DEP\_NAME», полю «Measurement ID» присвоено обозначение «MEASURE\_ID» и т.д.

**Экспериментальные исследования функций системы хранения данных.** В составе экспериментального стенда использовалась двухуровневая система серверов с дублированием информации на нескольких уровнях. В этом случае кроме хранения данных обеспечивалось их резервирование.

Для проверки соответствия полей таблиц при помощи программы-клиента базы данных была разработана программа экспериментальных исследований. По программе экспериментальных исследований проверялось соответствие базы данных требованиям, предъявленным в документации, которые подтверждают правильность работы базы данных спектральных характеристик углеводородов.

На начальной стадии была выполнена проверка аппаратного обеспечения для проведения экспериментальных исследований, в ходе которых было успешно выполнено тестовое включение всей совокупности устройств.

В результате правильного выполнения программы программа-клиент выводит сообщения о выполненном запросе. Программа формирования базы данных сформировала базу данных спектральных характеристик без ошибок. Соответственно успешный эксперимент



может служить подтверждением соответствия формирования базы данных требованию по функционированию.

Исследование доступа к сформированной базе данных из программы клиента СУБД проверяет возможность работы с базой данных при помощи программы клиентов (рис. 1).

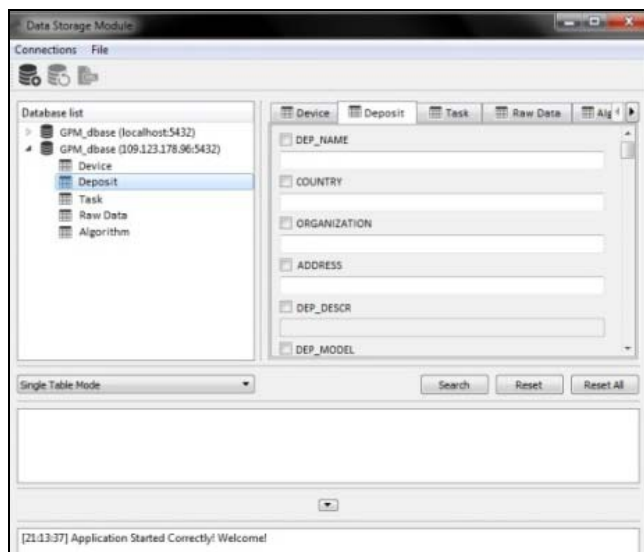


Рис. 1. Форма клиентского приложения системы хранения данных

Экспериментальные исследования базы данных включали проверку ее функций на соответствие описанию базы данных. В качестве параметров, которые необходимо было исследовать, были выделены соответствие полей всех таблиц базы данных их описанию, а также соответствие связанных таблиц их описанию.

**Заключение.** Разработанная логическая и физическая структура БД позволяет сохранять неструктурированные метаданные, а также осуществлять оперативный поиск месторождений по наборам задаваемых атрибутов средствами СУБД. Каждая сущность логической структуры БД имеет уникальное имя, которое отражает её смысловое значение. Кроме того, для каждой сущности задано её подробное описание и особенности взаимодействия с другими таблицами.

Исследования проводились при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации. Соглашение RFMEFI57817X0237.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Ларионцева Е.А. Иванова Е.Ю. Эволюция структур управления данными // Наука и образование. – 2011. – №11. – С. 1.
2. Лаптев В.Н. К вопросу повышения надежности систем сбора и хранения хронологических данных [Электронный ресурс] // Научный журнал КубГАУ. – 2014. – № 101(07). – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru>. (дата обращения: 18.10.2017).
3. Захаров А.М., Обходский А.В. Разработка системы хранения данных для функционирования программного комплекса моделирования свойств материалов [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://earchive.tpu.ru/handle/11683/31149> (дата обращения: 21.11.2017).
4. Марк Ф. Сети хранения данных. – М.: Лори, 2003. – 576 с.
5. Губарь А.А., Обходский А.В., Кудрявцев В.А. Формат представления данных распределенного программного комплекса моделирования материалов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.lib.tpu.ru/fulltext/c/2015/C49/274.pdf> (дата обращения: 23.11.2017).

## МОДЕЛЬ ХРАНЕНИЯ УНИВЕРСАЛЬНОГО ФОРМАТА ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСКИХ ДАННЫХ

*И.В. Скляров, М.Г. Крашенинников, П.Ю. Найданов, магистранты  
Научный руководитель Ю.Б. Гриценко, доцент каф. АОИ, к.т.н.  
г. Томск, ТУСУР, каф. АОИ, [ubg@muma.tusur.ru](mailto:ubg@muma.tusur.ru)*

Во многих сферах производственной деятельности до середины XX в. остро стоял вопрос автоматизации процессов проектирования и моделирования сложных технологических решений, который удалось решить при помощи появления специализированных систем автоматизации проектирования (САПР) и систем сбора данных и оперативного диспетчерского управления (SCADA) [1].

Инженеры на предприятии работают с конкретным набором проектно-конструкторских данных (ПКД), им нет необходимости видеть все компоненты проекта, но другим специалистам бывает необходимо видеть весь проект для создания связей между элементами или оценки проекта в целом, что достаточно проблематично сделать из-за множества разнородных данных и разнообразия версий, используемых САПР [2].

Обмен данными может осуществляться как напрямую, например, по почте или через программу для отправки сообщений, так и через посредника в виде менеджера. Подобные способы крайне неэффективны как в плане безопасности, так и в плане скорости. Поэтому для решения задачи эффективной работы множества пользователей с ПКД разной структуры необходимо использовать специальную автомати-

зированной систему, поддерживающую работу с универсальным форматом ПКД.

Универсальный формат хранения проектно-конструкторских данных представляет собой информационную структуру, которая позволяет хранить разнородные ПКД организации единым образом.

Модель представления формата состоит из двух частей, каждая из которых имеет иерархическую структуру, описывающую связи между объектами проекта.

Первая часть служит для хранения общей структуры данных всех проектов. Она содержит описание иерархических связей, объектов и их атрибутов, простых и сложных типов данных.

Во второй части хранятся непосредственно данные, которые необходимы пользователю. При этом их организация должна частично или полностью совпадать с описанной в первой части для осуществления возможности проверки.

Обе части формата имеют однонаправленную связь: при изменении структурной части файла должна соответственно изменяться и часть с хранимыми данными, если же изменилась организация загружаемых данных, но структура осталась прежней, то такие данные не проходят загрузку.

База атрибутивных данных должна обеспечивать возможности добавления в систему новых характеристик любого поддерживаемого типа данных и их групп, создания описаний объектов ПКД на основе созданных характеристик, ведения атрибутивных описаний и формирования отчетности на их основе [3]. Концептуальная модель представления атрибутивной составляющей ПКД представлена на рис. 1.

На рис. 1 представлены следующие основные сущности для атрибутивного описания объектов:

- «Характеристика» содержит описание всех используемых для описание ПКД характеристик.
- «Значение характеристики» описывает значение заданной характеристики конкретного объекта ПКД.
- «Группа характеристик» используется для группировки характеристик в объекте для определенной предметной направленности.
- «Объект ПКД» – это непосредственно объект ПКД, принадлежащий проекту. Объект включает в себя характеристики и их значения.
- «Тип объекта» описывает определенный тип объекта, характеризующийся своим набором характеристик.
- «Связь между типами объектов» описывает иерархические связи (вложенность объектов) между объектами ПКД.
- «Характеристика связи» между типами объектов описывает характеристики иерархических связей между объектами.

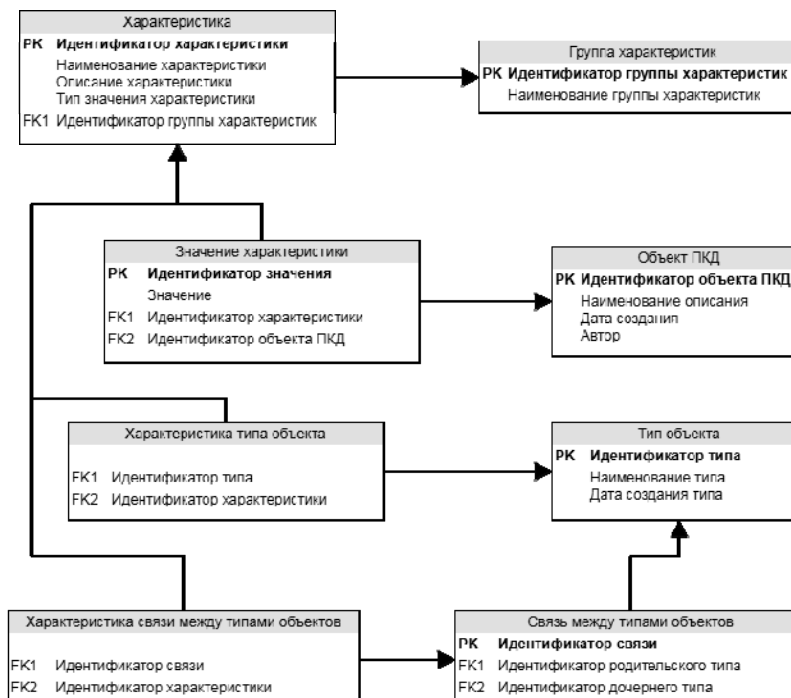


Рис. 1. Фрагмент модели представления атрибутивных описаний ПКД

На основе описанных выше архитектуры системы и модели представления ПКД была разработана система для программного обеспечения АСУ ТП подводных добычных комплексов «Управление» по заказу ООО «Томскнефтехим». После тестирования модели программный продукт был передан заказчику.

Предложенная модель может быть полезна не только для предприятий в сфере производственной деятельности, но и для любых других сфер, где существует необходимость представления данных, не имеющих четкой организации.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Козырев А.Ю. История развития систем проектирования / А.Ю. Козырев, А.Я. Клочков // Технические науки: традиции и инновации: матер. Междунар. науч. конф.: Челябинск, январь 2012 г. – Челябинск: Два комсомольца, 2012. – С. 64–66.
2. Маслова И.В. Компьютерная графика в проектно-конструкторской работе / И.В. Маслова, А.В. Хуртасенко. – Белгород: Изд-во БГТУ им В.Г. Шухова, 2010. – 78 с.
3. Жуковский О.И., Рыбалов Н.Б. Архитектура корпоративной Web-ориентированной ГИС // Доклады ТУСУРа. – 2008. – № 2 (18), ч. 2. – С. 46–57.

### **ПОДСЕКЦИЯ 3.3**

## **АВТОМАТИЗАЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ В ТЕХНИКЕ И ОБРАЗОВАНИИ**

*Председатель – Дмитриев В.М., проф. каф. КСУП, д.т.н.;*  
*зам. председателя – Ганджа Т.В., доцент каф. КСУП, к.т.н.*

### **ПРОЕКТИРОВАНИЕ МОДЕЛИ НЕЙРОННОЙ СЕТИ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ АВТОМАТИЧЕСКОЙ РАЗМЕТКИ ТЕКСТОВОГО КОНТЕНТА**

*И.О. Аксененко, студент*

*Научный руководитель В.В. Романенко, доцент каф. АСУ, к.т.н.*  
*г. Томск, ТУСУР, rva@2i.tusur.ru*

В настоящее время на факультете дистанционного обучения (ФДО) ТУСУРа создание тестовых заданий для проверки знаний осуществляется с помощью технологии создания тестов в системе дистанционного обучения (СДО) Moodle в совокупности с технологией разметки текстового контента и его интерпретации. Эта технология является первым шагом к автоматизации создания тестовых заданий. Подготовка и разметка текстового контента с целью последующей его интерпретации осуществляется вручную. Следующим этапом развития технологии является автоматизированное решение задачи разметки текстового контента: заключение текстового контента в теги специального назначения с целью повышения степени его структурированности. Применение нейронных сетей обусловлено неоднозначностью формирования структуры текстового контента, что не позволяет провести разметку автоматически с помощью классического программирования.

**Технология создания тестов.** Технологию создания тестов на ФДО ТУСУРа можно представить следующей последовательностью действий.

1. Эксперт предметной области на основе теоретического материала осуществляет подготовку текстового контента, который представляет собой текст на естественном языке с вопросами разного типа; существует семь типов вопросов: вопрос с одиночным выбором

ответа (SCQ), вопрос с множественным выбором ответа (MCQ), вопрос с вводом текстового ответа (TIQ), вопрос с вводом числового ответа (NIQ), вопрос на соответствие (MQ), вопрос на упорядочивание (OQ) и составной вопрос (CQ); каждый тип вопроса имеет уникальную структуру относительно других типов вопросов, однако разные эксперты могут по-разному определить структуру каждого типа вопроса; например, для вопроса с одиночным выбором ответа правильный ответ можно отметить одним из символов: «+», «=», «\*» и т.д.; кроме того, можно отметить жирным шрифтом, цветом, подчеркиванием или каким-либо другим стиливым признаком.

2. Эксперт производит разметку текстового контента; разметка текстового контента производится в соответствии с правилами разметки, регламентируемыми разработчиками этой разметки; разметка необходима, чтобы избавиться от неоднозначности структуры текстового контента, привести структуру к единообразному виду; структура размеченного текста представляет собой исходный текст, заключенный в теги специального назначения; на ФДО ТУСУРа была разработана собственная разметка и реализована надстройка Test Tagger для Microsoft Word, позволяющая упростить процесс разметки; пример разметки для SCQ представлен в таблице.

3. Программа-интерпретатор обрабатывает размеченный текстовый контент и на его основе создает файл Moodle XML.

4. Файл Moodle XML необходимо загрузить в систему Moodle, где скрипт-генератор сформирует тест в виде HTML-страницы.

**Пример разметки текстового контента**

Текстовый контент	Размеченный текстовый контент
Укажите административный центр Томской области: 1. Асино. 2. Северск. 3. Стрежевой. 4. = Томск	<pre>[item]   Укажите административный   центр Томской области:   [singlechoice numbering=123.:]   [choice]     Асино   [/choice]   [choice]     Северск   [/choice]   [choice]     Стрежевой   [/choice]   [choice value=1]     Томск   [/choice] [/singlechoice] [/item]</pre>

**Постановка задачи.** Задачу разметки текстового контента можно декомпозировать на две более простые задачи:

1) задача классификации типа вопроса; решив эту задачу, станет известно, какие теги необходимо использовать для разметки текстового контента;

2) задача распределения тегов: определение позиций текстового контента, на которые необходимо разместить отдельно взятый тег.

Первую задачу предлагается решить с помощью нейронных сетей.

Сформулировать задачу классификации типа вопроса можно следующим образом: требуется на основе текстового контента определить, к какому из семи типов вопросов он относится: SCQ, MCQ, TIQ, NIQ, MQ, OQ или CQ.

Для решения поставленной задачи будем использовать фреймворк Keras [1].

**Фреймворк Keras.** Keras – это высокоуровневый интерфейс прикладного программирования (API) нейронных сетей, написанный на языке Python и способный работать поверх TensorFlow [2, 3], CNTK [4, 5] или Theano [6]. Фреймворк был разработан с целью предоставить возможность быстро экспериментировать. Способность перейти от идеи к результату с наименьшей задержкой – ключ к выполнению хорошего исследования.

**Проектирование модели нейронной сети.** Нейронная сеть не способна обработать символы в том виде, в котором их видит человек. Она работает с числами диапазона [0,1]. Следовательно, символы входного текста необходимо представлять векторами чисел этого диапазона. Поэтому первым слоем нейронной сети будет Embedding слой [7]. Для работы с текстом на естественном языке наиболее часто используют рекуррентные нейронные сети (RNN) [8, 9]. Связано это с особенностями RNN-топологии нейронных сетей. RNN хорошо справляются с обработкой последовательностей и позволяют подавать на вход последовательности разной длины. Поэтому вторым слоем нейронной сети будет рекуррентный слой LSTM [10]. Последним слоем в задаче классификации целесообразно поставить полносвязный Dense-слой [11] с семью нейронами по количеству классов. Такая модель нейронной сети представлена на рис. 1.

**Выводы.** Спроектированная модель, обученная на 50 примерах обучающей выборки и 50 примерах валидационной выборки, дает хорошие результаты на тех же данных, на которых она обучалась, однако на валидационных и тестовых данных дает результат с большой погрешностью. Это говорит о переобучении нейронной сети из-за малого количества данных и отсутствия регуляризации. В дальнейшем

планируется подготовить достаточное количество обучающих данных и добавить в модель регуляризацию.

Layer (type)	Output Shape	Param #
embedding_1 (Embedding)	(None, None, 101)	10201
lstm_1 (LSTM)	(None, 14)	6496
dense_1 (Dense)	(None, 7)	105
activation_1 (Activation)	(None, 7)	0
Total params: 16,802		
Trainable params: 16,802		
Non-trainable params: 0		

Рис. 1. Модель нейронной сети

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Keras: The Python Deep Learning library [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://keras.io/> (дата обращения: 03.03.2018).
2. TensorFlow [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.tensorflow.org/> (дата обращения: 03.03.2018).
3. Download TensorFlow [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://github.com/tensorflow/tensorflow> (дата обращения: 03.03.2018).
4. The Microsoft Cognitive Toolkit [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.microsoft.com/en-us/cognitive-toolkit/> (дата обращения: 03.03.2018).
5. Download CNTK [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://github.com/Microsoft/cntk> (дата обращения: 03.03.2018).
6. Download Theano [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://github.com/Theano/Theano> (дата обращения: 03.03.2018).
7. Embedding Layers [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://keras.io/layers/embeddings/> (дата обращения: 03.03.2018).
8. Алфукка ИИ: «Рекуррентные нейросети» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://nplus1.ru/material/2016/11/04/recurrent-networks> (дата обращения: 03.03.2018).
9. О рекуррентных нейронных сетях [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://mechanoid.kiev.ua/neural-net-rnn.html> (дата обращения: 03.03.2018).
10. Recurrent Layers [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://keras.io/layers/recurrent/> (дата обращения: 03.03.2018).
11. Core Layers [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://keras.io/layers/core/> (дата обращения: 03.03.2018).



## РЕШЕНИЕ ПРЯМОЙ ЗАДАЧИ КИНЕМАТИКИ В СРЕДЕ МОДЕЛИРОВАНИЯ МАРС

*С.Н. Немытов, студент; А.С. Букреев, аспирант*

Научный руководитель Т.В Ганджа, доцент каф. КСУП  
г. Томск, ТУСУР, каф. КСУП

В процессе проектирования робототехнических систем актуальным является решение прямой и обратной задач кинематики. Прямая задача направлена на определение положения (координат) рабочего органа манипулятора по его известной кинематической схеме и заданной ориентации его звеньев. При решении обратной задачи по известной его кинематической схеме осуществляется определение углов между звеньями манипулятора.

Одним из универсальных средств компьютерного моделирования роботов-манипуляторов является среда моделирования МАРС [1]. Помимо анализа кинематических и динамических механических схем робота-манипулятора, она позволяет моделировать процессы, протекающие в электрических и электромеханических блоках с возможностью визуализации результатов в виде различных зависимостей, в том числе используя виртуальные инструменты и приборы [2], а также с возможностью демонстрации двух- и трехмерных геометрических сцен.

Для решения прямой задачи кинематики в среде моделирования МАРС разработан компонент «Кинематический преобразователь», представленный на рис. 1, математическая модель которого имеет вид

$$\mathbf{V}_2 = \mathbf{A} \cdot \mathbf{V}_1,$$

где  $\mathbf{V}_1$  – вектор неподвижной точки робота-манипулятора, от которой осуществляется отчёт;  $\mathbf{A}$  – матрица кинематических преобразований трехзвенного робота-манипулятора в однородной системе координат, к которым относятся перемещение звеньев и их углы относительно друг друга;  $\mathbf{V}_2$  – вектор положения схвата робота-манипулятора, координаты которого подлежат определению в процессе решения прямой задачи кинематики.

Формирование матрицы  $\mathbf{A}$  производится пользователем в редакторе математико-алгоритмических выражений, представленном на рис. 2. Он открывается, как и для каждой интерактивной математической панели [3], разработанной в среде моделирования МАРС, двойным щелчком мыши по изображению компонента в схемном редакторе. Элементами матрицы в общем случае являются тригонометриче-

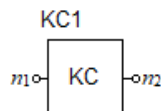


Рис. 1. Компонент «Кинематический преобразователь»

ские выражения, составленные относительно параметров компонента «Кинематический преобразователь»:  $b$  – сдвиг по оси  $OX$ ;  $d$  – сдвиг по оси  $OY$ ;  $c$  – сдвиг по оси  $OZ$ ;  $\alpha$  – поворот относительно оси  $OX$ ;  $\psi$  – поворот относительно оси  $OY$ ;  $Q$  – поворот относительно оси  $OZ$ .

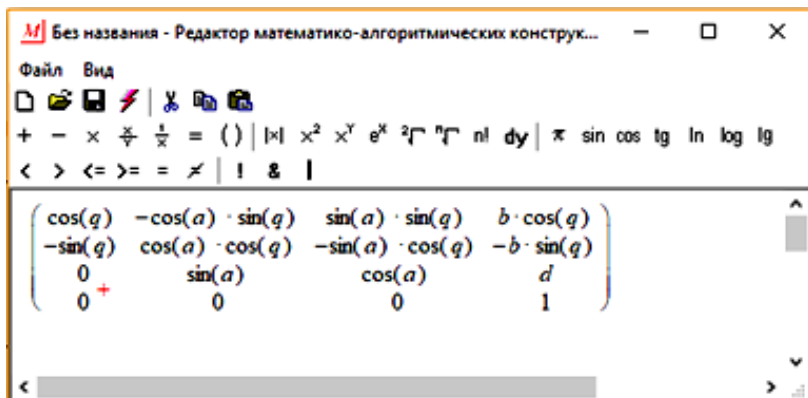


Рис. 2. Матрица A в редакторе математико-алгоритмических выражений

На рис. 3 приведена компонентная цепь робота-манипулятора, осуществляющая следующую последовательность преобразований: поворот на угол  $\alpha$  вокруг оси  $OX$ ; сдвиг на  $b$  единиц вдоль оси  $OX$ ; сдвиг на  $d$  единиц вдоль оси  $OZ$  и поворот на угол  $Q$  вокруг оси  $OZ$ .

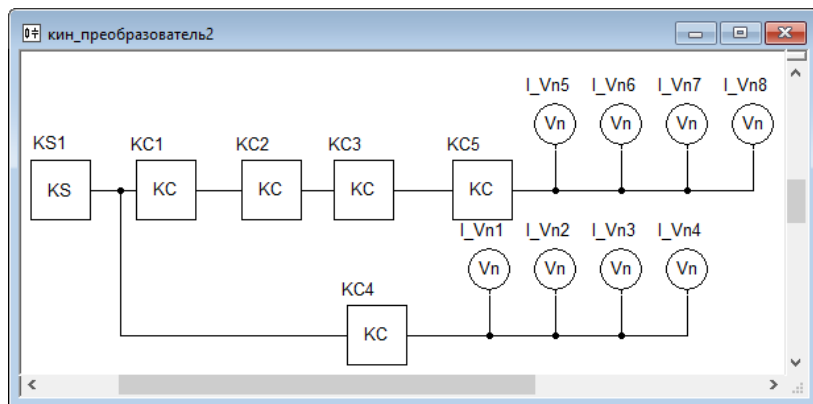


Рис. 3. Компонентная цепь для определения координат схвата робота-манипулятора

Изменяя величины сдвигов и углов с помощью регуляторов, расположенных на визуальном уровне многоуровневой компьютерной модели, можно определить их значения, при которых схват робота-манипулятора будет находиться в заданной точке.

Аналогичным образом может быть решена обратная задача кинематики, заключающаяся в определении значения углов при заданных размерах звеньев робота манипулятора, которые позволят доставить схват в заданную точку пространства, доступного роботу-манипулятору.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. 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.

2. 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.

3. Дмитриев В.М. Генератор моделей компонентов физически неоднородных цепей на базе интерактивной математической панели / В.М. Дмитриев, Т.В. Ганджа, Т.Ю. Коротина // Доклады ТУСУРа. – 2009. – № 2 (20). – С. 94–99.

#### СОЛНЕЧНЫЙ ТРЕКЕР

*Н.Н. Садыков, А.М. Емельянов, Э.Х. Зуллукаров, А.В. Трифанов,  
Е.С. Усков, студенты ИШЯТ НИТПУ*

*г. Томск, НИТПУ, nns13@tpu.ru*

В мире стоит две главные проблемы: экологическая и энергетическая. Эти проблемы взаимосвязаны. Одно из решений этих проблем – альтернативные источники энергии, к примеру – солнечная энергия. Известно, что КПД солнечных панелей невысокое, а технология получения энергии довольно затратная, поэтому необходимо либо удешевить производство солнечных панелей, либо увеличить их КПД.

Солнечный трекер – автоматическая поворотная конструкция для солнечных батарей, динамически ориентирующая относительно положения солнца, обеспечивая оптимальное положение солнечных модулей [1, 2].

Основной задачей нашего проекта является увеличение КПД солнечной панели с помощью солнечного трекера.

Для реализации проекта была собрана схема на основе микроконтроллера Arduino Uno, написан скетч, обеспечивающий работоспо-

способность устройства, был собран каркас для передачи вращения солнечной панели.

Схема состоит из микроконтроллера Arduino Uno, двух фоторезисторов и сервопривода. Контроллер периодически считывает значения с двух фоторезисторов и сравнивает их. Если значения с датчиков одинаковы, значит, панель будет получать от солнца максимально возможное количество энергии. В случае если значение одного из датчиков отличается от другого, контроллер дает команду на серводвигатель для поворота платформы. Команда на сервопривод работает до тех пор, пока значения с датчиков не сравняются.

Конструкция способна поворачиваться на  $180^\circ$  со скоростью  $0,17 \text{ с}/60^\circ$ , что позволяет солнечной панели поворачиваться плавно на оптимальные углы и иметь запас углов поворота для более долговечной работы сервопривода. Температуры работы солнечного трекера в диапазоне от  $-20$  до  $+50 \text{ }^\circ\text{C}$ , этот диапазон является оптимальным при производстве электрической энергии для частного сектора. Эти характеристики сочетают оптимальную стоимость и надежность солнечного трекера для его индивидуального использования в частном секторе. Стоимость солнечного трекера составила 3807 руб. Солнечный трекер отличается от аналогичных установок тем, что он дешевле и прост в сборке, детали, из которых он состоит, можно приобрести в любом магазине электронных компонентов.

Для подтверждения полезности устройства был произведен эксперимент. В темной комнате с занавешенными шторами с помощью светодиода смартфона имитировалось солнце в течение светового дня. Длительность каждого опыта составляла 9 мин. В первом случае солнечный трекер в любом направлении источника света направлял плоскость солнечной панели перпендикулярно «солнечному» свету. Во втором случае свет падал под  $45^\circ$  к плоскости солнечной панели с одной стороны и с другой и под  $90^\circ$  по 3 мин для каждого случая. После каждого «светового дня» измерялось время свечения садовой лампы солнечной панели. В итоге сравнивались оба полученных значения, из чего и был сделан вывод об увеличении КПД. Цель была достигнута, так как увеличение КПД составило 16%.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Схема солнечного трекера [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://cxem.net/arduino/arduino20.php> (дата обращения: 28.02.2018).
2. Солнечный трекер [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://energy-ds.ru/catalog/generating/solnecnye-trakery.html> (дата обращения: 28.02.2018).

## ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ

*П.А. Кириллов, А.А. Гуртовенко, студенты каф. КСУП*

*Научный руководитель П.С. Кернякевич, доцент каф. экономики  
г. Томск, ТУСУР, Chestiga@gmail.com, alexey.gurtovenko@gmail.com*

Рост результативности при решении задач, которые возлагаются на автоматизированные системы управления производством (АСУП), а также безграничное разнообразие подобных задач ведут к всевозможным результатам от внедрения АСУП. При этом результаты не всегда являются положительными. Внедрение АСУП влечет за собой ряд социально-экономических последствий вокруг объекта автоматизации, как положительных, так и отрицательных.

При возникновении такого эффекта от внедрения АСУП оценка эффективности внедрения должна проводиться комплексно, при этом оценивать эффективность следует в несколько этапов для того, чтобы в достаточной мере учесть влияние процесса и результатов внедрения на такие факторы, как состояние окружающей среды, особенности требований местного населения к климатическим условиям, оказываемый вред для организма человека и др.

Говоря о сфере экономики, внедрение АСУП в первую очередь повышает эффективность производства, качество выпускаемой продукции, эффективность управления производственными процессами, приводит к более динамичному поведению рынка, готовит его к трансформации (изменению спроса на ту или иную продукцию).

Обобщить показатели влияния внедрения АСУП можно путем расчета годового экономического эффекта. Данный показатель есть не что иное, как отношение годового прироста прибыли к средствам, затраченным на внедрение АСУП (покупка оборудования, перекавалификация персонала, привлечение специалистов для установки и ввода в эксплуатацию данного оборудования).

$$\mathcal{E}_T = \Pi / K, \quad (1)$$

где  $\mathcal{E}$  – годовой экономический эффект;  $K$  – капитальные вложения на создание САУ;  $\Pi$  – годовая прибыль, обеспечиваемая вложениями.

Основная сложность данного процесса заключается в том, что АСУП не автоматизирует полностью все процессы. Исходя из этого, человеку приходится делать выбор наиболее выгодных направлений автоматизации.

Пусть автоматизация управления по одному  $i$ -му направлению имеет определенную стоимость  $C_i$ , причем эта стоимость зависит от уровня  $Y_i$  автоматизации управления в этом направлении:

$$\Pi_i = \Pi_i(Y_i). \quad (2)$$

Доходы от автоматизации управления по одному  $i$ -му направлению также зависят от  $Y_i$ :

$$D_i = D_i(Y_i). \quad (3)$$

При решении только этой задачи необходимо соблюдать условия

$$\Pi_i(Y_i) = K_i \times D_i(Y_i), \quad (4)$$

где  $K_i$  – коэффициент, выражающий отношение затрат и доходов, т.е. срок окупаемости:

$$K_i = \frac{\Pi_i}{D_i(Y_i)}. \quad (5)$$

Пусть  $Y_i(\Pi_i, D_i)$  – функция, обратная (5), тогда ее можно определить как

$$Y_i = f(\Pi_i, D_i, K_i). \quad (6)$$

При решении этой задачи возможен выбор оптимальных решений.

Для системы, решающей многие задачи, следует перейти к суммам по всем решаемым функциям от  $i = 1$  до  $n$ :

$$\Pi = \sum_{i=1}^n \Pi_i(Y_i); \quad (7)$$

$$D = \sum_{i=1}^m D_i(Y_i); \quad (8)$$

$$Y = f(\Pi, D, K). \quad (9)$$

На основании вышеизложенных формул можно сделать вывод, что уровень и направление автоматизации могут изменяться. Его основная задача – обеспечить соответствие между доходами от внедрения АСУП и затратами на нее. Постоянный поиск оптимального соответствия определяет целесообразный уровень автоматизации управления производством [1].

Существуют факторы внешнего воздействия, которые могут существенно влиять на условия реализации внедрения АСУП. Примером такого явления служит решение Госдумы РФ возродить налог на модернизацию от 15.11.2017 г., что подразумевает оплату налога с 1 января 2018 г. на движимое имущество (т.е. вся техника и установки, приобретаемые предприятием) в размере 1,1% [2]. На первый взгляд, данный налог не представляет большой угрозы, но, обладая экономическими и техническими знаниями данных процессов, можно увидеть его негативные стороны.

Исходя из вышеописанной модели, мы видим, что введение налога увеличивает такой параметр модели, как  $\Pi$  (стоимость автоматизации), так как налог приводит к росту затрат. В результате это приве-

дет к увеличению коэффициента К (в т.ч. к росту срока окупаемости) и к снижению У (уровня автоматизации управления).

На некоторых предприятиях автоматизация предприятий уже прошла определенный путь, и внедрение АСУП на сегодняшний день не производит революционных решений, следовательно, рентабельность ее не так велика. Перед предприятием ставится задача максимально выгодно и ощутимо для потребителя показать изменение стоимости продукта с внедрением АСУП. Дело в том, что среди конкурентов могут оказаться предприятия, ранее осуществившие автоматизацию без уплаты этого налога, которые не включали его в стоимость продукта. Поэтому дальнейшая модернизация становится менее привлекательной для предприятия и будет иметь смысл при создании революционных технологий, способных существенно влиять на качество и стоимость продукта. Это может привести к неравномерному росту автоматизации, что вызовет нестабильность на рынке со всеми негативными последствиями.

Поэтому можно отметить, что введение данного налога в конечном итоге негативно повлияет на реализацию внедрения АСУП, снизит спрос на автоматизацию, на специалистов в этой сфере, а также усложнит ее. Это негативно скажется на производительности труда и может являться причиной падения уровня жизни населения в целом по экономике и может привести к снижению уровня автоматизации управления и снижению технологического уровня предприятий в нашей стране относительно зарубежных конкурентов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Пославский М.А. Экономическая эффективность автоматизации управления производством в цветной металлургии: дис. ... канд. экон. наук: 08.00.05. – СПб., 2006. – 176 с.

2. Газета «Ведомости» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.vedomosti.ru/economics/articles/2017/11/15/741711-nalog-na-modernizatsiyu> (дата обращения: 20.12.2017).

### **СТРУКТУРНАЯ СХЕМА АППАРАТНО-ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ «УМНОЙ ТЕПЛИЦЫ НА ГИДРОПОНИКЕ»**

***В.С. Куринька, аспирант; Т.В. Ганджа, доцент, к.т.н.***

*Научный руководитель В.М. Дмитриев, проф., д.т.н.*

*г. Томск, ТУСУР, каф. КСУП, valek019@gmail.com*

С точки зрения теории управления объект «умная теплица на гидропонике» (УТГ) – это автоматизированный агротехнический объ-

ект, в котором с помощью осуществления виртуальных или реально-виртуальных экспериментов с возможностью анализа получаемых экспериментальных данных производится установление и поддержание эффективных условий для выращивания растений (определенной сельскохозяйственной культуры). С целью определения управляющих воздействий осуществляется акцентирование внимания на биологических характеристиках растений, а определение оптимальных технологий их роста осуществляется с помощью компьютерной модели, встроенной в контур управления.

**Система управления «умной теплицы на гидропонике».** На основе системного анализа объекта управления УТГ был выявлен полный состав и связи подсистем [1], а также определены компоненты, необходимые для дальнейшего построения компьютерной модели УТГ. На ее основе реализована интеллектуальная система управления режимами работы УТГ и сформирована структурная схема аппаратно-программного комплекса системы управления УТГ, представленной на рис. 1.

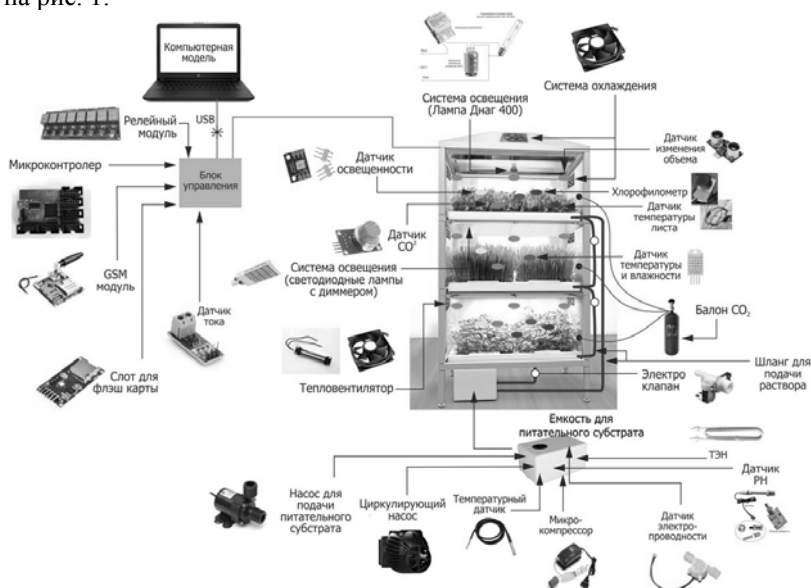


Рис. 1. Структурная схема аппаратно-программного комплекса системы управления УТГ

Система управления [2] включает в себя:

– устройство управления, представленное в виде микроконтроллера X-Robot и релейного модуля. Оно обрабатывает информационно-измерительные сигналы датчиков, сравнивает их с данными, храня-



щимися в базах данных, вырабатывает и отправляет необходимые управляющие сигналы на исполнительные устройства;

- систему документирования и базы данных, которые отражают параметры и сценарии управления для создания оптимальных условий развития растений в УТГ. Они расположены на модуле SD-карты;

- систему оповещения, представленную в виде GSM-модуля. Она позволяет отправлять СМС-оповещения, уведомления для агронома об изменениях в работе системы и оповещения об аварийных ситуациях;

- компьютерную модель, расположенную на персональной компьютере, который подключается к микроконтроллеру при помощи USB-кабеля;

- контроль расхода электроэнергии, представленный в виде датчика потребляемого тока.

Камеры для высадки растений включают в себя:

*Информационно-измерительную подсистему микроклимата в камерах*, включающую: температурный датчик, предназначенный для измерения температуры внутренней среды камеры; датчик влажности, измеряющий влажность воздуха внутренней среды камеры; датчик освещенности, отвечающий за измерение уровня светового потока в камере; датчик углекислого газа, определяющий содержание CO<sub>2</sub> в воздухе камеры.

*Информационно-измерительную подсистему оценки состояния растений* [3], состоящую из: датчика температуры листа, предназначенного для измерения температуры листа растений; хлорофлуорометра, определяющего содержание хлорофилла в растениях; блока датчиков измерения объема, анализирующих динамику изменения и прироста зеленой массы растений, который состоит из нескольких ультразвуковых датчиков.

Все полученные значения с датчиков передаются на микроконтроллер для обработки и формирования управляющих сигналов.

*Исполнительную подсистему*, состоящую из:

- источника света, создающего тепловой и световой поток в камере и представленного в виде светодиодных ламп и диммера, лампы натриевой высокого давления Днат 400, пускорегулирующего аппарата и импульсно-заряжающего устройства;

- системы охлаждения и тепловентилятора, состоящей из нескольких кулеров и керамических нагревателей. Используются для создания притока теплого, холодного и при необходимости оттока теплого воздуха из камеры или оттока теплого воздуха из верхней части камеры в месте расположения лампы типа Днат 400.

- системы дренажного слива питательного субстрата в бак, которая включает в себя лотки для высадки растений, шланги и электроклапаны;

- баллона с углекислым газом, предназначенного для подачи CO<sub>2</sub> в камеры.

Емкость для питательного субстрата оборудована:

*Информационно-измерительной подсистемой оценки состояния субстрата*, включающей: датчик pH, предназначенный для измерения кислотности-щелочности баланса в субстрате; термостат, применяющийся для измерения температуры в субстрате; датчик электропроводности, измеряющий удельную проводимость субстрата.

*Исполнительной подсистемой*, состоящей из: насоса для подачи питательных веществ, отвечающего за подачу питательного субстрата в поддоны для высадки растений УТГ; тэна водогрейного, предназначенного для подогрева питательного субстрата; циркуляционного насоса, применяющегося для перемешивания питательного субстрата; микрокомпрессора, использующегося для аэрации питательного субстрата.

**Заключение.** Представленная структурная схема аппаратно-программного комплекса позволяет получить представление об элементах и системе управления УТГ и на ее основе реализовать сборку реального объекта.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Дмитриев В.М., Ганджа Т.В., Куринька В.С. Структурно-функциональная схема компьютерной модели умной теплицы на гидропонике // Информатика и системы управления. – 2018. – №1(55). – С. 51–63.
2. Ганджа Т.В. Формализованное представление технически сложного объекта с компьютерной моделью в контуре управления // Приборы и системы. Управление. Контроль. Диагностика. – 2012. – № 2. – С. 29–35.
3. Медведев С.С. Физиология растений. – СПб.: БХВ-Петербург, 2012.

#### **АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА КОНТРОЛЯ ДАВЛЕНИЯ ТРАНСПОРТИРУЕМОГО ВЕЩЕСТВА В ТРУБОПРОВОДЕ**

*А.А. Гуртовенко, К.Н. Калдар, Д.С. Лункин, студенты  
Научный руководитель А.Е. Карелин, доцент каф. КСУП  
г. Томск, ТУСУР, каф. КСУП. alexey.gurtovenko@gmail.com,  
kairat.kkn@mail.ru, lunkin.dmitriy@gmail.com*

*Проект ГПО ЭСАУ-1305 «Разработка систем сбора технологических данных для электропривода трубопроводной арматуры»*

Одной из основных задач при транспортировке вещества по трубопроводу является обеспечение необходимого эксплуатационного режима его функционирования, т.е. поддержание устанавливаемого нормативными требованиями давления в магистральном трубопроводе.

Для решения этой задачи разработан программно-аппаратный комплекс автоматизированной системы контроля и регулирования давления на участке трубопровода. Система призвана сформировать лабораторный стенд, состоящий из объекта управления и шкафа управления объектом, воспроизводящий модель трубопроводного участка, оборудованного датчиками давления (АДН-10.4), температуры (ОВЕН ДТС), а также заслоночным регулирующим органом в комбинации с электроприводом и блоком его управления (ECD-VCX-380) (рис. 1).

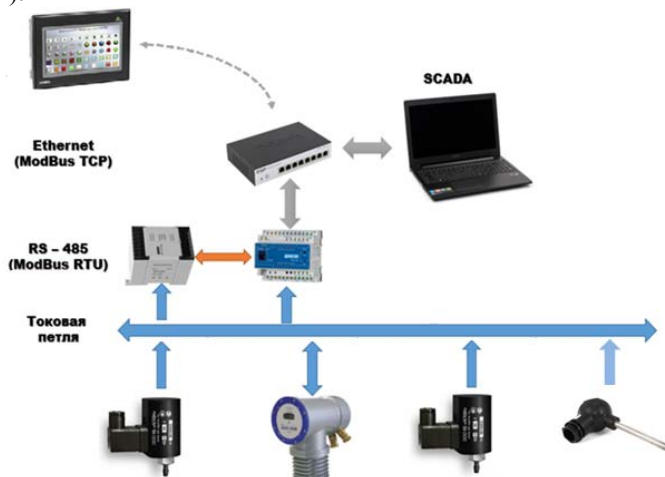


Рис. 1. Структура автоматизированной системы

Изменения давления потока осуществляются за счет автоматического или ручного задания положения регулирующего органа. Переключение режима работы системы осуществляется по командам оператора из местного диспетчерского пункта (МДП) или дистанционно-го диспетчерского пункта (ДДП) по каналам телемеханики.

Разработанная система:

- имеет децентрализованную трехуровневую структуру;
- предоставляет возможность осуществлять автоматический или ручной контроль необходимого технологического параметра;
- имеет возможность принимать команды управления с местного и/или дистанционного постов управления, учитывая при этом их приоритетность и согласованность;
- автоматически осуществляет как аппаратную, так и программную защиту технологического оборудования в случае возникновения аварийных ситуаций;

- автоматически оповещает оператора МДП и ДДП о возникновении аварийных ситуаций и любых изменениях параметров системы;
- ведёт журнал событий в системе.

Основными видами обеспечения системы являются техническое, информационное, программное и математическое обеспечение.

**Состав технического обеспечения.** Автоматизированная система контроля и регулирования выполнена на современной элементной базе с применением промышленного контроллера ОВЕН ПЛК150-220.И-Л и панели оператора Omron NB7W-TW01B. Конструктивно система выполнена в виде шкафа управления. На передней панели шкафа управления располагается пункт местного управления, включающий сигнальные лампы, кнопки и переключатели режимов, а также панель оператора, отражающую состояния всех основных параметров работы исполнительных устройств, показания датчиков, наличие аварийных ситуаций. В качестве модуля расширения используется модуль аналогового ввода ОВЕН МВ110-8А.

**Состав информационного обеспечения.** Технические средства системы связаны при помощи интерфейса RS-485 с применением протокола Modbus RTU. Связь системы с сервером оператора ДДУ, а также со смежными системами обеспечивается при помощи интерфейса Ethernet с применением протокола Modbus TCP/IP посредством сетевого коммутатора (рис. 2).



Рис. 2. Автоматизированная система контроля давления транспортируемого вещества в трубопроводе

**Состав программного обеспечения.** Разработка ПО среднего уровня осуществлялась с использованием языков стандарта МЭК 61131-3 ST и CFC. В качестве системы диспетчерского управления и

сбора данных использовался программный пакет SCADA Каскад-САУ. Взаимодействие ПО верхнего и среднего уровня обеспечивается при помощи сервера OPC компании «ОВЕН».

**Состав математического обеспечения.** В качестве алгоритмов регулирования используются два типа программно реализованных регуляторов: классический ПИД-регулятор, а также адаптивный регулятор, использующий в качестве алгоритма идентификации рекуррентный многоточечный алгоритм с ортогонализацией измерений. Оптимальные параметры ПИД-регулятора рассчитаны с применением метода РАФЧХ на основе математической модели системы, полученной в результате идентификации, при помощи диаграммы Ольденбурга–Сарториуса.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Шидловский С.В. Теория автоматического управления: учеб. пособие. – Томск: Изд-во НТЛ, 2003. – 40 с.
2. Карелин А.Е., Майстренко А.А., Светлаков А.А. Рекуррентная идентификация процессов и объектов и ее применение в построении адаптивных систем управления: учебное пособие. – Томск: Изд-во Том. гос. ун-та систем упр. и радиоэлектроники, 2011. – 180 с.
3. Нестеров А.Л. Проектирование АСУТП: метод. пособие. – Кн. 2. – СПб.: ДЕАН, 2009. – 944 с.

#### ПОЛУЧЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБЪЕКТА УПРАВЛЕНИЯ

*А.А. Гуртовенко, К.Н. Калдар, Д.С. Лункин, студенты каф. КСУП*

*Научный руководитель А.Е. Карелин, доцент каф. КСУП*

*г. Томск, ТУСУР, alexey.gurtovenko@gmail.com, kairat.kkn@mail.ru,  
lunkin.dmitriy@gmail.com*

*Проект ГПО ЭСАУ-1305 «Разработка систем сбора  
технологических данных для электропривода трубопроводной  
арматуры»*

В данной статье описан процесс получения математической модели (идентификации) технологического объекта управления (ТОУ) на примере участка трубопровода, оборудованного датчиками давления и дисковым затвором, управляемым электроприводом. Также подробно приводится процесс определения параметров ПИД-регулятора, обеспечивающих требуемое качество переходного процесса. Задача состоит в определении вида и коэффициентов дифференциального уравнения системы по ее переходной характеристике с

последующим расчетом параметров ПИД-регулятора методом расширенных амплитудно-фазовых характеристик (РАФЧХ).

**Получение переходной характеристики ТОО.** Основным технологическим параметром в разрабатываемой системе является величина давления в трубопроводе. Идентификация системы проводилась следующим образом: дисковый затвор трубопроводной арматуры выставлен в положение «полностью закрыто», при помощи турбины в трубопроводе создано максимальное давление (360 Па), при этом сигнал с датчика давления до затвора (АДН 1.4.1) соответствовал максимальной величине давления, а давление после затвора, согласно аналогичному датчику, полностью отсутствовало. В качестве входного единичного воздействия выступало полное открытие затвора (время открытия 63 с). После подачи сигнала на открытие затвора в текстовый файл с максимально возможной скоростью осуществлялась запись значений величины давления после затвора. Сбор и обработку данных с датчиков осуществлял промышленный логический контроллер ОВЕН ПЛК 150-220.И-Л посредством модуля расширения аналогового ввода ОВЕН МВ110-8А, связанного интерфейсом RS-485 с применением протокола Modbus RTU. В результате получен вид переходного процесса, изображенный на рис. 1.

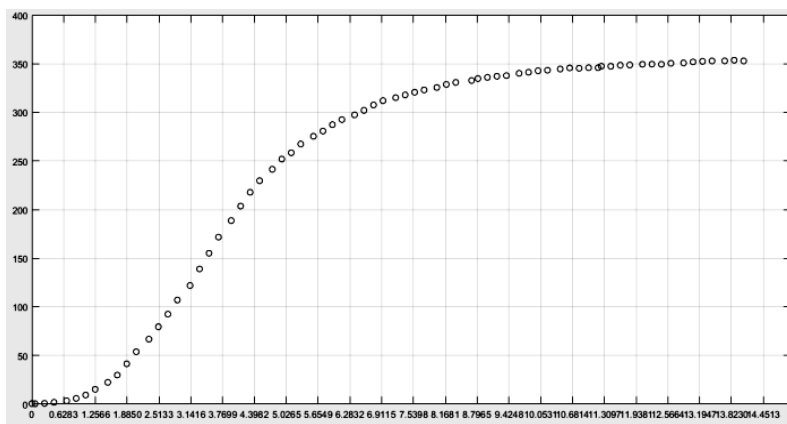


Рис. 1. Переходный процесс ТОО

По виду переходной характеристики предположили, что математическую модель системы возможно получить из последовательно соединенных апериодического звена второго порядка и звена транспортного запаздывания.

Передаточная функция звена транспортного запаздывания

$$W_1(p) = e^{-pt}. \quad (1)$$

Передаточная функция аperiodического звена 2-го порядка

$$W_2(p) = \frac{k}{(T_1^* p + 1)(T_2^* p + 1)}. \quad (2)$$

Идентификация была произведена графическим методом с использованием диаграммы Ольденбурга–Сарториуса.

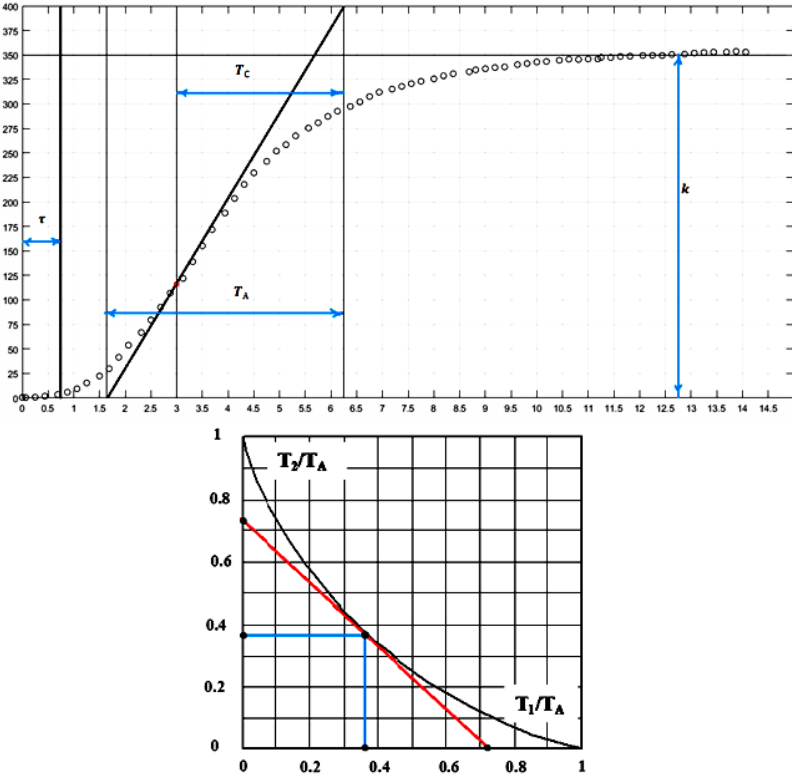


Рис. 2. Идентификация графическим методом с помощью диаграммы Ольденбурга–Сарториуса

Аналитическая запись полученной модели выглядит следующим образом:

$$W(p) = \frac{352}{(2,024 p + 1)(2,886 + 1)} e^{-0,7 p}. \quad (3)$$

РАФЧХ звена получили подстановкой в передаточную функцию ТОУ  $W(p)$  оператора  $p = (i - m)*\omega$  (для получения границы заданной степени колебательности  $m$ ). Степень затухания переходного процесса принята 0,95 (степень колебательности 0,478), в качестве критерия качества принят первый интегральный критерий. Передаточная функция ПИД-регулятора имеет вид

$$W(p) = \frac{C_0}{p} + C_1 + C_2, \quad (4)$$

где  $C_0 = k_p/T_i$ ,  $C_1 = k_p$ ,  $C_2 = k_p \times T_d$  – настроечные параметры регулятора.

Для определения параметров настройки ПИД-регулятора построили линию равного затухания (рис. 2) при  $\Psi = 0,95$ . В плоскости параметров настройки выбрали точку доставляющую минимум первому интегральному критерию.

Таким образом, параметры настройки регулятора определяются как

$$k_p = 0,009; \quad T_i = 3,781; \quad T_d = 0,64; \quad \omega_{рез} = 0,655\text{с}^{-1}.$$

Полученные коэффициенты регулятора обеспечивают требуемое качество переходного процесса.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Шидловский С.В. Теория автоматического управления: учеб. пособие. – Томск: Изд-во НТЛ, 2003. – 40 с.
2. Бесекинский В.А., Попов Е.П. Теория систем автоматического регулирования. – 3-е изд., испр. – М.: Наука, главная редакция физико-математической литературы, 1975. – 768 с.

### АППАРАТНАЯ ЧАСТЬ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ ВЫРАЩИВАНИЯ РАСТЕНИЙ

*В.А. Павлин, студент*

*Научный руководитель С.Г. Михальченко, д.т.н., проф., зав. каф. ПрЭ  
г. Томск, ТУСУР, каф. ПрЭ, zoshb@bk.ru*

Из-за переменчивого и сурового климата выращивать различные овощи и фрукты непросто, а современная городская жизнь заставляет и вовсе забыть об уходе за огородом и покупать фрукты, овощи и прочую растительность в магазине. Многие люди хотят круглый год питаться свежими овощами и фруктами, а также быть уверенными в их безопасности для здоровья. Но желание выращивать самим быстро пропадает, когда люди узнают, сколько условий нужно соблюсти и сколько времени нужно затратить, чтобы получить хороший урожай, поскольку каждое растение имеет свой режим дня, цветения, полива и т.д.



Для того чтобы максимально упростить эту задачу и дать людям возможность выращивать в домашних условиях такие фрукты и овощи, какие они пожелают, затрачивая на это минимум времени, средств и беспокойств по отношению к растению, было принято решение создать автоматизированный комплекс для выращивания растений.

Из существующих решений проблемы выращивания растений в домашних условиях можно выделить покупку гроутента и гроубокса.

Разрабатываемое устройство в отличие от аналогов – это готовый автоматизированный комплекс для выращивания, не требующий от пользователя сборки, настройки, контроля каждого прибора в отдельности, поскольку все управление и контроль за процессом выращивания передан контроллеру, программы которого выбираются через доступный пользователю интерфейс.

Режим работы комплекса представляет собой особые условия освещения, вентиляции и полива, которые подбираются для каждого конкретного растения и поддерживаются устройством в течение всего периода роста растения.

Итого разработанный комплекс осуществляет:

1. Включение и выключение освещения для растения через заданные промежутки времени по запросу микроконтроллера.

2. Включение и выключение вентиляции для растения через заданные промежутки времени по запросу микроконтроллера по тем же стадиям (режиму), что и для света.

3. Передачу данных между датчиком температуры и влажности Si7021 и микроконтроллером STM32F103C8T6.

4. Передачу данных между датчиком температуры DS18B20 и микроконтроллером STM32F103C8T6.

5. Передачу данных между ультразвуковым датчиком расстояния и микроконтроллером STM32F103C8T6.

6. Передачу данных между датчиком потока воды и микроконтроллером STM32F103C8T6.

7. Передачу данных между дисплеем MT-20S4A и микроконтроллером STM32F103C8T6.

Определение уровня воды в баке осуществляется с использованием ультразвукового датчика расстояния. Принцип работы системы управления поливом следующий.

Раз в 12 часов контроллер включает насос и производит полив растения в течение 26 с, за это время в соответствии с установленной производительностью насоса расходуется 200 мл воды.

Одновременно с этим на дисплее отображается информация о процессе полива, его завершении и уровне воды в баке (в процентах).

Информацию об уровне воды и процессе полива контроллер получает от ультразвукового датчика расстояния и датчика потока воды.

При обнаружении неисправности системы, отсутствия воды в баке контроллер прекращает работу устройства полива и выводит соответствующее сообщение на дисплей.

Принцип работы системы управления освещением и вентиляцией следующий.

Лампа включена, а вентилятор работает в полную силу, имитируя день, ночью же лампа выключена, а вентилятор крутится медленно, имитируя ночь. Время переключения контроллер определяет по таймеру.

Также написана программа, которая в зависимости от положения внешнего тумблера переключает один из двух типов суточных циклов освещения: вегетация (в котором растение набирает свой рост) – 16 ч (день) / 8 ч (ночь) или цветение (в котором растение начинает плодоносить) – 12 ч (день) / 12 ч (ночь).

3D-модель устройства с описанием представлена на рис. 1.



Рис. 1. 3D-модель устройства с описанием

На рис. 2 приведена схема электрическая принципиальная платы управления в среде Altium Designer 16.0.

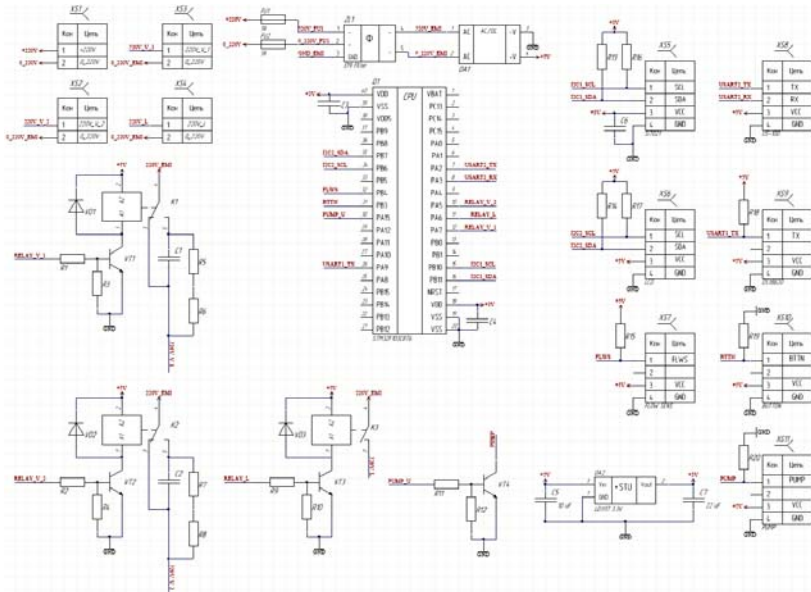


Рис. 2. Схема электрическая принципиальная в среде Altium Designer 16.0

На рис. 3 представлен внешний вид платы управления, которая была заказана на производстве и собрана в ТУСУРЕ.

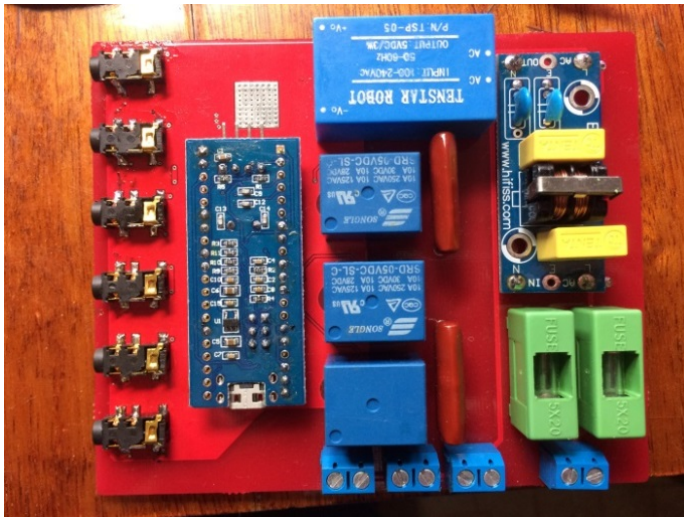


Рис. 3. Внешний вид платы управления

## ЛИТЕРАТУРА

1. Гроубоксы [Электронный ресурс]. – Гроумир.ру. – URL: <http://www.growmir.ru/collection/frontpage> (дата обращения: 05.03.2018).
2. Гроутенты [Электронный ресурс]. – Гроумир.ру. – URL: <http://www.growmir.ru/collection/growtent> (дата обращения: 05.03.2018).
3. Экзоты из супермаркета [Электронный ресурс]. – Сажаем сад. – URL: <https://www.sazhaemsad.ru/ekzoty-iz-supermarketa.html> (дата обращения: 05.03.2018).
4. Цены [Электронный ресурс]. – ФУДСИТИ. – URL: <https://foodcity.ru/price/> (дата обращения: 05.03.2018).
5. Пассифлора: видовое разнообразие и технология выращивания [Электронный ресурс]. – Садоводу.com. – URL: <https://sadovodu.com/2017/06/passiflora-vidovoe-raznobraziye-i-texnologiya-vyrashhivaniya> (дата обращения: 05.03.2018).

## РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОННОГО РЕЙТИНГА В ВУЗЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГРАММЫ ЭЛЕКТРОННОГО ПОРТФОЛИО

*Ф.Д. Пираков, магистрант каф. АОИ ТУСУР;  
А.А. Османова, студентка ФМФ ТГПУ  
Научный руководитель Е.Н. Клыжко, к.т.н.  
г. Томск, НИТПУ, farrukh.9559@gmail.com*

С развитием инновационных подходов в преподавании и введением новых государственных образовательных стандартов особенно актуальным является вопрос организации научно обоснованной и объективной автоматизированной системы контроля знаний и методик диагностирования знаний студентов как составного элемента информационной среды управления учебным процессом.

Идея создания и использования е-портфолио в высшем образовании в качестве системы непрерывного оценивания обучающихся по широкому спектру областей их деятельности является логическим следствием применения передовых педагогических и информационных технологий в образовании [1–4]. В этой связи становятся актуальными вопросы автоматизации процессов обработки и хранения данных электронного рейтинга учащихся.

Целью настоящей работы является разработка технологии для рейтинговой системы контроля достижений студентов и методики ее внедрения в современную вузовскую практику.

Разработка электронной рейтинговой подсистемы осуществлялась в форме развития функционала системы электронного портфолио, разработанного ранее в вузе [1]. Система электронного портфолио подходит для этих целей по целому ряду ее свойств: имеется на-

копительная подсистема оценок и пропусков учащихся, содержится набор разделов, относящихся к основным достижениям (научные, общественные, культурные, спортивные и др.).

Студенты вносят основной массив данных: документы, подтверждающие достижения различных типов, рецензии, отметки за достижения и др. Сотрудники деканата, в свою очередь, вносят информацию об оценках и пропусках, а также могут просматривать материалы студентов, формировать списки документов электронного портфолио обучающихся и оценивать их наполнение [2].

**Начисление баллов за достижения  
в научно-исследовательской деятельности**

Критерий		Итого баллов
Награда, победа в конкурсах за достижения в научно-исследовательской деятельности (стипендия Президента РФ; стипендия Правительства РФ, стипендия губернатора Томской области; премия Законодательной думы Томской области, именные стипендии ТГПУ и т.д.)	Международный уровень	100
	Всероссийский уровень	90
	Региональный	80
	Вузовский	7
Интеллектуальная собственность (патент, свидетельство о регистрации, акт о внедрении)	Патент	20
	Свидетельство о регистрации	20
	Акт (справка о внедрении)	5
Участие в НИР (гранты)	В качестве руководителя	100
	В качестве соисполнителя	25
Научные публикации	Статья в журналах и сборниках, индексируемых межд. базами данных Web of Science и Scopus	100
	Статья в рецензируемом журнале из списка ВАК	90
	Статья в сборнике зарубежной конференции	50
	Статья в сборнике международной и всероссийской конференции	10
	Статья, опубликованная в прочих изданиях	3
	Учебное (учебно-методическое) пособие	15
Лучший доклад на конференции	Международный уровень	5
	Всероссийский уровень	4
	Региональный уровень	3
Иное публичное представление результатов научно-исследовательской работы, в т.ч. путем выступления с докладом (сообщением) на конференции, семинаре и ином мероприятии, проводимом учреждением высшего образования, и др.	Международный уровень	1
	Всероссийский уровень	1
	Региональный уровень	1

Для получения доступа к системе требуется согласование на уровне деканата, где студенты получают данные для аутентификации, при этом имеется и автоматическая система регистрации. Для расчета рейтинга достижений учащихся предполагается использовать критерии, представленные в таблице.

Для создания веб-приложения выбрана архитектура REST (Representational state transfer). Для разработки серверной части была выбрана технология JavaEE 7 и GlassFish 4. Для клиентской части был выбран JavaScript фреймворк AngularJS, поскольку он обладает удобной моделью шаблонизации HTML-интерфейсов. В качестве СУБД была выбрана MySQL.

Данная система была создана для определения наиболее подходящих кандидатур для получения повышенной, государственной и другой стипендии, также для определения наиболее активных в различных областях деятельности студентов. Рейтинговая система повышает мотивацию студентов к активному и равномерному освоению образовательных программ. Вычисление оценочных показателей призвано избавить преподавателей и организаторов учебного процесса от значительной части ошибок, ведущих к субъективизму оценки. Рейтинг позволяет получить дифференцированную и разностороннюю информацию о качестве и результативности обучения, а также о персональных учебных достижениях студентов, в том числе для принятия управленческих решений.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Пираков Ф.Д., Мытник А.А. Разработка и внедрение системы электронного портфолио в вузе // Молодёжь и современные информационные технологии: Труды XIV Междунар. науч.-практ. конф. студентов, аспирантов и молодых учёных. – Томск, ТПУ, – 2016. – Т. 1. – С. 313–314.
2. Пираков Ф.Д., Клишин А.П., Ахметова Л.В. Система электронного портфолио обучающегося (е-портфолио) как элемент информационной среды управления учебным процессом в педагогическом вузе // Вестник Том. гос. пед. ун-та. – 2018. – Вып. 1 (190). – С. 148–154.
3. Клишин А.П., Стась А.Н., Газизов Т.Т. и др. Основные направления информатизации деятельности Томского государственного педагогического университета // Вестник Том. гос. пед. ун-та. – 2015. – Вып. 3 (156). – С. 110–118.
4. Клишин А.П., Волкова Н.Р., Еремина Н.Л. и др. Подходы к автоматизации документооборота в вузе // Вестник Новосиб. гос. ун-та. Сер.: Информационные технологии. – 2017. – Т. 15, № 1. – С. 36–46.

## АЛГОРИТМ БРЕЗЕНХЭМА ДЛЯ СИСТЕМ ЧПУ С N-МЕРНЫМ ПРОСТРАНСТВОМ

*Б.В. Ширяев, аспирант каф. ФЭ*

*Научный руководитель А.В. Безрук,*

*нач. измерительного участка 4-го отдела АО «НИИПП»*

*г. Томск, ТУСУР, harger.net@mail.ru*

В последнее время большое распространение получили системы с числовым программным управлением (ЧПУ): от простых 3D-принтеров на базе микроконтроллеров ATmega до высокопроизводительных металлообрабатывающих станций. За перемещение в системах с ЧПУ отвечает числовой интерполятор: он может быть программным и аппаратным, выполненным в виде микросхем ТТЛ.

В данной статье будет рассматриваться модифицированный алгоритм Брезенхэма как алгоритм генерации управляющих step/dir сигналов для драйверов шаговых двигателей.

Алгоритм Брезенхэма – простой целочисленный алгоритм для растрового построения отрезка, первоначально предназначенный для использования в графопостроителях [1] (рис. 1). При значительно большом размере шага получается ломаная ступенчатая линия. Если уменьшить размер одного шага, то ступенчатость линии будет сглаживаться (рис. 1, б).

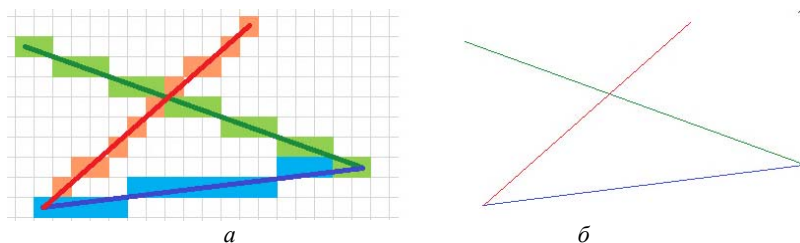


Рис. 1. Рисование прямых линий алгоритмом Брезенхэма:  
 $a$  – крупный размер пикселя;  $b$  – мелкий размер пикселя

С подробным описанием алгоритма можно ознакомиться в источниках [1, 2] с реализацией на языках программирования [3].

Важным свойством алгоритма Брезенхэма, которое позволяет его применять в системах с ЧПУ, является его последовательность – он пошагово проходит через все связанные позиции из исходной точки в целевую. Модификация этого алгоритма адаптирует его для генерации управляющих step/dir-сигналов для неограниченного числа драйверов шаговых двигателей. Применяя алгоритм для реальной системы

с ЧПУ, манипулятор которой обладает массой и инерцией, ступенчатое перемещение будет сглаживаться до равномерного.

### Реализация модифицированного алгоритма Брезенхэма на С-подобном языке

```
// переменные – данные для хранения состояния перемещения
#define N 100 // количество направлений/степеней свободы
int pos[N]; // текущее положение точки
int nextPos[N]; // целевое положение точки
int delta[N]; // разница координат целевого и текущего положений
int dir[N]; // направление движения
int error[N]; // накапливаемая ошибка перемещения
int maxDelta = 0; // максимальное число шагов перемещения
// блок подготовки – предварительная инициализация переменных
for (int i = 0; i < N; i++){ // для каждого измерения провести расчёты
    delta[i] = nextPos[i] – pos[i]; // расстояние перемещения
    dir[i] = delta[i] > 0 ? 1 : -1; // вычисление направления
    delta[i] = abs(delta[i]); // вычисление абсолютной разницы
    error[i] = 0; // сброс накапливаемой ошибки
    maxDelta = max(maxDelta, delta[i]); // поиск максимальной разницы
}
// блок перемещения – расчёт новых координат и перемещение
while (!End()){ // пока целевое положение не совпадает с текущим
    for (int i = 0; i < N; i++){
        error[i] += delta[i]; // накапливание ошибки координаты
        if (2 * error[i] > maxDelta){ // если накопленная ошибка превысила порог –
            // сделать шаг (здесь может быть любая функция генерации шага, dir[i] – на-
            // правление)
            pos[i] += dir[i]; // приращение координаты положения
            error[i] -= maxDelta; // снижение накопленной ошибки
        }
    }
}
// пример функции проверки совпадения целевого и текущего положения
bool End(){
    bool b = true;
    for (int i = 0; i < N; i++){
        b &= nextPos[i] == pos[i];
    }
    return b;
}
```

Результат работы алгоритма можно представить в виде графиков зависимости координат положения каждого направления перемещения от номера шага (рис. 2).

Асимптотическая сложность алгоритма составляет  $O(N)$ . За счёт этого данный алгоритм эффективно работает на микроконтроллерах семейства ATmega и позволяет между шагами обрабатывать другие данные (в том числе принимать и отправлять).



В памяти задействовано  $5N * \text{sizeof}(\text{type})$  байт. Тип integer (он же long в ATmega) занимает 4 байта (32 бита). Количество памяти на одно направление потребуется не менее 20 байт. Для примера: в микроконтроллере ATmega328 2 Кб оперативной памяти, максимальное количество направлений может достигать  $N = 100$ .

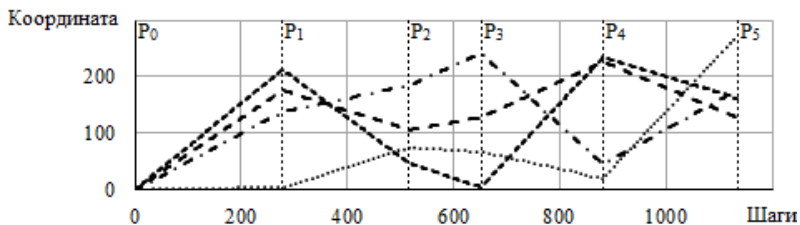


Рис. 2. Графики зависимости координаты положения каждого направления от номера шага:  $P_0 - P_5$  – последовательные координаты перемещения

**Выводы.** Разработка данного модифицированного алгоритма позволила использовать микроконтроллеры типа ATmega328 в качестве контроллера для управления многокоординатными системами с ЧПУ. К положительным особенностям предложенного алгоритма можно отнести:

- переносимость алгоритма – алгоритм не имеет специфических операций над числами;
- вычисления с целыми числами (унаследовано у алгоритма Брезенхэма для растеризации 2D-линий) – алгоритм гарантирует перемещение из текущей точки в целевую;
- низкая асимптотическая сложность;
- возможность выполнения операций между шагами позволяет расширить функционал системы с ЧПУ, не добавляя контроллеров.

К недостатку алгоритма можно отнести то, что алгоритм несовместим с системами обратной связи положения манипулятора ЧПУ – драйвер шаговых двигателей должен гарантировать отсутствие пропуска шагов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Шинкин Е.В., Боресков А.В. Компьютерная графика. Динамика, реалистические изображения. – М.: Диалог-МИФИ, 1996. – 288 с.
2. Алгоритм Брезенхэма [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Алгоритм\\_Брезенхэма](https://ru.wikipedia.org/wiki/Алгоритм_Брезенхэма) (дата обращения: 22.02.2018).
3. Реализации алгоритмов. Алгоритм Брезенхэма [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://ru.wikibooks.org/wiki/Реализации\\_алгоритмов/Алгоритм\\_Брезенхэма](https://ru.wikibooks.org/wiki/Реализации_алгоритмов/Алгоритм_Брезенхэма) (дата обращения: 22.02.2018).

## АЛГОРИТМ И СИСТЕМА КЛАСТЕРИЗАЦИИ ЗАПИСЕЙ СИСТЕМНЫХ ЖУРНАЛОВ ОС

*Д.В. Зарипов, студент*

*Научный руководитель А.С. Ковтун, ассистент каф. КИБЭВС  
г. Томск, ТУСУР, каф. БИС, zdv@keva.tusur.ru*

Первые системные файлы появились вместе с появлением компьютеров. Со временем программы также обзавелись log-файлами. Несмотря на сложность понимания информации в них и нечастое использование обычными пользователями, log-файлы остаются основным средством в случаях, когда необходимо понять проблемы в работе, выявить нарушения безопасности и оценить безопасность как таковую в рамках «испытаний на проникновение».

На данный момент анализ log-файлов ведется вручную, специалисты просто анализируют информацию в log-файле и ищут места, требующие внимания. Но ввиду того, что log-файлы пишутся на протяжении всего жизненного цикла системы, очень часто они могут быть критически большого размера. Поэтому возникла необходимость в создании системы кластеризации log-файлов, которая бы разбивала log-файл таким образом, чтобы была возможность просматривать не весь файл, а только его часть. Просмотр кластеров был бы гораздо более удобен: в кластерах содержится однотипная информация, и выявлять аномалии становится проще. Конечная цель – сокращение времени обработки специалистом log-файла.

**Кластеризация.** Кластеризация (или кластерный анализ) – это задача разбиения множества объектов на группы, называемые кластерами. Внутри каждой группы должны оказаться «похожие» объекты, а объекты разных групп должны быть как можно более отличны [1].

**Выбор системных журналов.** Был проведен анализ 3 log-файлов: log-файл системы ILO (Integrated Lights-Out), системный журнал Debian (syslog) и журнал ядра ОС Debian (Kern).

Ilo – механизм управления серверами в условиях отсутствия физического доступа к ним. Применяется фирмой Hewlett Packard для всех своих серверов [2].

Kern – журнал содержит сообщения от ядра и предупреждения, которые могут быть полезны при устранении ошибок пользовательских модулей, встроенных в ядро.

Syslog содержит глобальный системный журнал, в котором пишутся сообщения с момента запуска системы, от ядра Linux, различных служб, обнаруженных устройствах, сетевых интерфейсов и много другого [3].

**Реализация.** В ходе реализации программного модуля было разработано три модуля для каждого log-файла отдельно. Язык для написания был выбран Python 3.6.

Процесс создания программных модулей заключался в том, что log-файл открывался, просматривался, на какие кластеры его можно разбить. В программном модуле производилось построчное чтение файла, разбиение строки, далее по определенным принципам строка определялась в один из кластеров, если ни в один кластер она не прошла, то строка определялась в специальный кластер. После разбиения происходил обзор полученных кластеров, если принималось решение о создании дополнительного кластера, то программный модуль дописывался и вновь запускался, так до момента пока не принималось решение о том, что данного разбиения вполне достаточно.

Результат разбиения log-файла ILO представлен на рис. 1.

login.txt	11.12.2017 22:54	Текстовый докум...	29 КБ
mod.txt	11.12.2017 22:54	Текстовый докум...	2 КБ
server.txt	11.12.2017 22:54	Текстовый докум...	1 КБ
upgrade.txt	11.12.2017 22:54	Текстовый докум...	1 КБ
WTF.txt	11.12.2017 22:54	Текстовый докум...	6 КБ

Рис. 1. Разбиение log-файла ILO

Результат разбиения log-файла Kern.log представлен на рис. 2.

ACPI.txt	11.12.2017 23:57	Текстовый докум...	49 КБ
acpiphp.txt	11.12.2017 23:57	Текстовый докум...	8 КБ
compound.txt	11.12.2017 23:57	Текстовый докум...	63 КБ
drm.txt	11.12.2017 23:57	Текстовый докум...	9 КБ
pci.txt	11.12.2017 23:57	Текстовый докум...	249 КБ
SRAT.txt	11.12.2017 23:57	Текстовый докум...	32 КБ
WTF.txt	11.12.2017 23:57	Текстовый докум...	338 КБ

Рис. 2. Разбиение log-файла Kern.log

Результат разбиения log-файла Syslog представлен на рис. 3.

connect.txt	12.12.2017 1:45	Текстовый докум...	3 КБ
error.txt	12.12.2017 1:45	Текстовый докум...	2 КБ
nginx.txt	12.12.2017 1:45	Текстовый докум...	2 КБ
snginx.txt	12.12.2017 1:45	Текстовый докум...	6 КБ
WTF.txt	12.12.2017 1:45	Текстовый докум...	3 КБ

Рис. 3. Разбиение log-файла Syslog

**Заключение.** На данный момент полученной реализации не хватает автоматизации и универсальности. Но уже сейчас данная реализация сокращает время работы специалиста с log-файлами, что говорит о том, что улучшать эту систему целесообразно.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Обзор алгоритмов кластеризации данных [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://habrahabr.ru/post/101338/> (дата обращения: 15.09.2017).
2. HPE iLO 4 User Guide [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://support.hpe.com/hpsc/doc/public/display?docId=c03334051> (дата обращения: 20.10.2017).
3. Лог файлы Linux по порядку [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://habrahabr.ru/post/332502/> (дата обращения: 20.10.2017).

## ПОДСЕКЦИЯ 3.4

### МОДЕЛИРОВАНИЕ В ЕСТЕСТВЕННЫХ И ТЕХНИЧЕСКИХ НАУКАХ

*Председатель – Зариковская Н.В., доцент каф. ЭМИС, к.ф.-м.н.;*  
*зам. председателя – Колотаев И.В., разработчик*  
*ООО «СибирьСофтПроект»*

### СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ ПОДВИЖНОГО ОБЪЕКТА

*Н.Д. Березина, аспирантка каф. ВМиММ*  
*Научный руководитель С.И. Колесникова, проф., д.т.н.*  
*г. Томск, ТГУ, dubina-nina@mail.ru*

В работе [1] на основе метода аналитического конструирования агрегированных регуляторов (АКАР) [2] построена система для управления движением центра масс подвижного объекта с описанием вида

$$\begin{cases} m\Delta\ddot{h}(t) = a_1\delta + b_1\delta^3, \\ T\delta(t) + \delta = c_1u, \end{cases} \quad (1)$$

где  $\Delta h$  – координата центра масс;  $\delta$  – отклонение управляющего органа;  $m, a_1, b_1, c_1, T$  – постоянные величины, содержательный смысл которых определяется физикой задачи;  $u$  – управляющий сигнал.

$$u = \frac{T_1^{-1}}{c_1 T^{-1}(a_1 m^{-1} + 3b_1 m^{-1} \delta^2)} \times \left[ -\frac{\rho_1}{\rho_2} \Delta h + \left( \frac{\rho_1}{\rho_2} - 1 - T_2 \frac{\rho_1}{\rho_2} \right) \Delta \dot{h}(t) - \left( T_2 \frac{\rho_1}{\rho_2} (a_1 m^{-1} + b_1 m^{-1} x_3^2) + \frac{1}{T} \right) \delta \right],$$

$T_1, T_2$  – параметры настройки регулятора;  $\rho_1, \rho_2$  – постоянные величины.

Построенная система управления объектом (1) позволяет перевести систему из произвольной точки фазового пространства в точку равновесия  $x(0;0;0)$  (рис. 1).

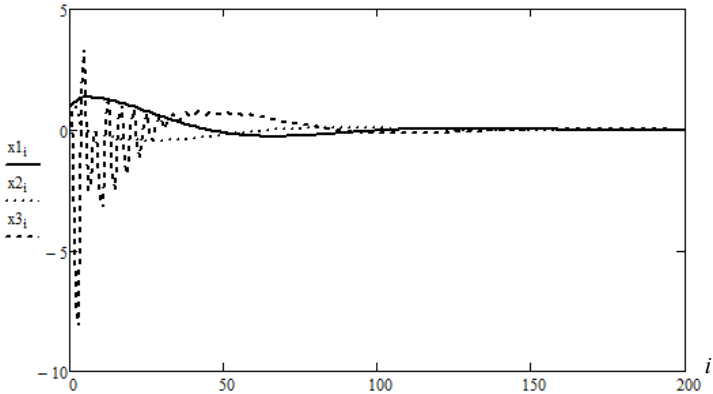


Рис. 1. Поведение объекта управления ( $I$ ) под воздействием управляющего сигнала  $u$  из [1] со значениями параметров  $a = 0,2$ ;  $b = 0,001$ ;  $c = 0,3$ ;  $\omega = 14$   $T_1 = 0,3$ ;  $T_2 = 0,4$ ;  $\rho_1 = 1$ ;  $\rho_2 = 0,51$

Цель настоящей работы – распространить результаты из [1] на управление движением манипулятора, моделирующим движение ковша экскаватора вдоль заданной траектории. При этом необходимо выполнение требования минимальности отклонения от целевой траектории.

Будем рассматривать уравнения механики вида

$$m\ddot{b} = q + u, \quad (2)$$

где  $b_i$  – межзвенные углы;  $m = \|m_{ik}\|_{i=1,3}^{k=1,3}$  – матрица кинетической энергии;  $u_i \leq h_i$  – управления;  $q_i$  – иные обобщенные силы  $i = \overline{1,3}$ , содержательный смысл которых определен [3].

Требуется сконструировать управление, выводящее траектории объекта на заданные целевые  $b_i^*(t)$ . Здесь  $b_i = b_i^*(t)$ ,  $b_i(t)$ ,  $i = \overline{1,3}$  – некоторая программа целевого изменения углового положения ковша.

Осуществим преобразование в описании объекта (2) с целью удобного применения метода конструирования управления по алгоритму АКАР по следующей схеме.

Введем обозначения:  $x_1(t) = \dot{b}(t)$ ,  $x_2(t) = b(t)$ . Систему (2) перепишем в виде

$$\begin{cases} \dot{x}_1(t) = x_2(t), \\ \dot{x}_2(t) = aq + au, \end{cases} \quad (3)$$

$$x_1, x_2 \in R^3, \quad a = m^{-1}.$$

Согласно методу АКАР синтез системы управления осуществляется в пространстве состояний с использованием целевых многообра-

зий  $\psi(x)=0$ . Здесь применим двухэтапный синтез системы управления для объекта (3) по нижеприведенному алгоритму.

На первом этапе введем макропеременную вида:

$$\psi_i^1 = x_{2i} - \varphi_i(x_1), i=\overline{1,3},$$

где  $\varphi_i$  – внутренние управления (согласно терминологии АКАР).

Сформулируем первую вариационную задачу  $(J_1, \psi_i^1)$ ,  $i=\overline{1,3}$ :

$$J_1 = \int_0^{\infty} \sum_{i=1}^3 \left[ (T_i^1)^2 (\dot{\psi}_i^1(t))^2 + (\psi_i^1(t))^2 \right] dt \rightarrow \min_{u_i}, T_i^1 > 0, i=\overline{1,3}.$$

Из решений функциональных уравнений, доставляющих глобальный минимум функционалу  $J_1$ ,  $T_i^1 \psi_i^1(t) + \psi_i^1(t) = 0$ ,  $i=\overline{1,3}$ , находим управления  $u_i$ ,  $i=\overline{1,3}$  с точностью до неизвестной функции  $\varphi_i(x_1)$ :

$$u_i = m \frac{\partial \varphi}{\partial x_{i1}} x_{i2} - q_i - \frac{\psi_i^1}{T_i^1 a_1}, i=\overline{1,3}.$$

Первый этап заканчивается декомпозицией системы (3) на многообразии  $\psi_i^1(t)=0$ ,  $i=\overline{1,3}$ :

$$\dot{x}_i(t) = \varphi_i(x_1), i=\overline{1,3}.$$

На втором этапе формулируется вторая вариационная задача  $(J_2, \psi_2(t))$ :

$$J_2 = \int_0^{\infty} \sum_{i=1}^3 \left[ (T_i^2)^2 (\dot{\psi}_i^2(t))^2 + (\psi_i^2(t))^2 \right] dt \rightarrow \min_{u_i}, T_i^2 > 0, i=\overline{1,3}$$

при ограничении:  $\psi_i^2(t) = x_1(t) - b^*(t) = 0$ ,  $i=\overline{1,3}$ .

На решениях функциональных уравнений

$$T_i^2 \dot{\psi}_i^2(t) + \psi_i^2(t) = 0, i=\overline{1,3},$$

доставляющих глобальный минимум функционалу  $J_2$ , получаем соотношение на вспомогательные функции  $\varphi_i(x_1)$  и соответственно явный вид управлений  $u_i$  для объекта (3).

Итоговая система управления включает в себя совокупность уравнений:

$$\begin{cases} \dot{x}_{i1}(t) = x_{i2}(t) \\ \dot{x}_{i2}(t) = a_i q_i + a_i u_i, \\ u_i = m \frac{\partial \varphi}{\partial x_{i1}} x_{i2} - q_i - \frac{\psi_i^1}{T_i^1 a_1}, \\ \varphi_i = b_i^*(t) - \left(T_1^{(2)}\right)^{-1} \psi_1^{(2)}(t). \end{cases}$$

В работе осуществляются численное моделирование построенной системы управления и численные исследования устойчивости целевых состояний, а также влияние параметров регулятора на качество системы управления.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Колесников А.А. Синергетическая теория управления [Электронный ресурс]. – URL: <http://synergetics.scp.sfedu.ru/index.html>
2. Колесников А.А. Синергетика и проблемы теории управления: сборник научных трудов / под ред. А.А. Колесникова. – М.: Физматлит, 2004.
3. Матюхин В.И. Управление движением манипулятора. – М., 2010 (Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН).

### ИДЕНТИФИКАЦИЯ ГИДРАТА ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ГАЗОКОНДЕНСАТНЫХ СКВАЖИН

*А.А. Бояркина, аспирантка каф. ВМиММ*

*Научные руководители: С.И. Колесникова, проф. каф. ВМиММ, д.т.н.,*

*Н.В. Зариковская, доцент каф. ЭМИС, ТУСУР*

*г. Томск, ТГУ, [skolesnikova@yandex.ru](mailto:skolesnikova@yandex.ru), [natalia.v.zarikovskaia@tusur.ru](mailto:natalia.v.zarikovskaia@tusur.ru)*

Проблема обнаружения и своевременного предотвращения последствий предаварийных ситуаций является актуальной при решении задач, связанных с управлением технологическими процессами.

Предотвращение возникновения аварийных ситуаций имеет преимущественное направление в рамках задач, решаемых в нефтегазовой отрасли при эксплуатации скважин.

Цель решения задачи идентификации гидратообразования при эксплуатации скважин заключается в обнаружении признаков его формирования, что позволило бы минимизировать потери путем предотвращения и сокращения времени простоя скважин.

Достижение поставленной цели основывается на изучении динамики изменения параметров во время эксплуатации скважин, при наступлении гидратообразования, с целью получения признаков для обнаружения нежелательного события.

В качестве исходных данных при решении задачи обнаружения предаварийных ситуаций выступают данные телеметрии при эксплуатации газоконденсатных скважин.

Одним из наиболее распространенных осложнений при эксплуатации является *гидратообразование* [3]. Возникновение гидратообразования влечет за собой выход из строя оборудования и значительные потери добычи вследствие закупоривания скважины.

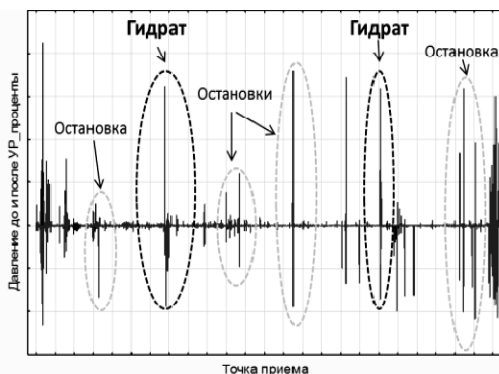


**Решение задачи.** На предмет наличия гидратообразования был проанализирован фонд 33 газоконденсатных скважин с обработанной телеметрией устьевых датчиков с дискретизацией замеров в 2 ч: давление до УР (регулирующее устройство) (кгс/см<sup>2</sup>); давление после УР (кгс/см<sup>2</sup>); температура в точке приема до УР (°С); расход в точке приема до УР (м<sup>3</sup>/сут).

**Объект исследования.** Многомерный временной ряд как совокупность показателей, описывающих промышленную эксплуатацию газоконденсатных скважин.

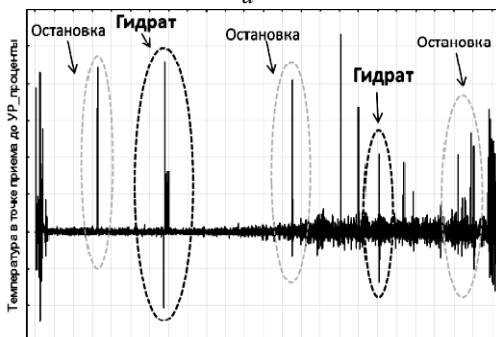
С целью упорядочивания исходной информации начальный массив данных был проанализирован на предмет наступления плановых событий (остановки, проводимые исследования (ГДИ, ГКИ), смена УР). Аналогичным образом в отдельный массив были выделены временные интервалы, соответствующие остановке скважины по причине гидратообразования. Искомые события будут проанализированы в отдельном контексте с целью выделения признаков их наступления.

Динамика изменения значений параметров при наступлении плановых и искомых событий была проанализирована с точки зрения относительной величины их изменения, выраженной в процентном соотношении (рис. 1).



Точка приема

а



Точка приема

б

Рис. 1. Относительная величина изменения параметров, выраженная в процентах, при наступлении плановых событий и при гидратообразовании на шлейфовой задвижке:

- а – давление до и после УР;
- б – температура в ТП до УР

Была проанализирована динамика изменения значений параметров в моменты формирования гидратообразования (таблица).

**Относительная величина изменения параметров  
в моменты формирования гидратов**

	Давление до УР_дельта, %	Давление после УР_дельта, %	Температура в ТП до УР_дельта, %	Расход в ТП до УР_дельта, %
	Диапазон знач. (1,57; 10,32)	Диапазон знач. (1,52; 10,13)	Диапазон знач. (-13,7; 2,4)	Диапазон знач. (57; 8,6)
Начало формирования гидрата	1,571980143	1,527279419	2,4074074	8,661617373
Пик формирования гидрата	10,3267264	10,13140009	-13,7432188	-57,11123065
	Диапазон знач. (5,11; 25,78)	Диапазон знач. (4,8; 25,82)	Диапазон знач. (-27; -19)	Диапазон знач. (-56; -51)
Начало формирования гидрата	25,7848392	25,82096697	-19,67654987	-56,79200289
Начало формирования гидрата	5,151422919	4,809009283	-27,71812081	-51,87893119

**Анализ полученных результатов.** Таким образом, при наличии тенденции изменения параметров в сторону увеличения или уменьшения, при которых возможно образование гидратов (рост давления, понижение температуры, снижение дебита), можно говорить о формировании гидратообразования. В данном случае интенсивное изменение параметров наблюдается на протяжении 4 ч (давление до УР +10,32%; давление после УР +10,13%; температура в ТП до УР -13,74%, расход в ТП до УР -57,11%). Отметим сигнал формирования гидратообразования – как только расход снижается на 50%, необходимо пристально наблюдать за состоянием скважины.

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Акульшин А.Н. и др. Эксплуатация нефтяных и газовых скважин. – М.: Недра, 1889. – 480 с.
2. Широковский А.И. Разработка и эксплуатация газовых и газоконденсатных месторождений. – М.: Недра, 1987. – 347 с.
3. Кузнецов Ф.А., Истомина В.А., Родионова Т.В. Газовые гидраты: исторический экскурс, современное состояние, перспективы исследований // Рос. хим. журн. – 2003. – Т. XLVII, № 3. – С. 5–18.
4. Манаков А.Ю., Дядин Ю.А. Газовые гидраты при высоких давлениях // Рос. хим. журн. – 2003. – Т. XLVII, № 3. – С. 28–42.

## РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ПРОЦЕССА НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ СЕПАРАЦИИ

*А.А. Бунаев, студент*

*Научный руководитель И.М. Долганов, доцент*

*отд. химической инженерии*

*г. Томск, ТПУ, ayur.bunaev@mail.ru*

Одним из активно используемых процессов в области подготовки природного газа является низкотемпературная сепарация, основанная на извлечении из газов жидких углеводородов с помощью конденсации при пониженных температурах [1].

Основной задачей в составлении модели данного процесса является расчет составов каждой фазы в системе координат температура – давление.

Начальные условия задаются так: жидкая фаза отсутствует полностью, известны  $z_i$  – массив мольных долей в начальной смеси, давление и температура, до которой охлаждается газ. Стоит отметить, что в двухфазной области суммы мольных долей в каждой фазе равны единице. А также то, что мольные доли каждого компонента в начальной смеси и в фазах связаны между собой общей долей пара  $\varphi$ :

$$z_i = \varphi y_i + (1 - \varphi)x_i.$$

Сначала необходимо задать некоторые начальные значения констант равновесия, пользуясь корреляцией Вильсона [2]:

$$K_i = \frac{P_{ci}}{p} \exp\left(5,37(1 + \omega_i)\left(1 - \frac{T_{ci}}{T}\right)\right). \quad (1)$$

Затем рассчитывается общая доля пара с использованием заданных уравнением (1) констант, по уравнению Рашфора–Райса:

$$\sum_{i=1}^n \frac{z_i(K_i - 1)}{1 + \varphi(K_i - 1)} = 0.$$

После этого рассчитываются предварительные мольные доли компонентов в фазах с помощью тех же констант:

$$x_i = \frac{z_i}{1 + \varphi(K_i - 1)}, \quad (2)$$

$$y_i = K_i x_i. \quad (3)$$

Следующим шагом является решение кубического уравнения (4) для нахождения коэффициента сжимаемости  $Z_v$ :

$$Z_v^3 - Z_v^2 + Z_v(A_v - B_v - B_v^2) - A_v B_v = 0. \quad (4)$$

Затем необходимо определить коэффициенты летучести для уравнения состояния Соава–Редлиха–Квонга для газовой фазы [3]:

$$\Phi_{vi} = \exp \left( (Z_v - 1) \frac{B_{pi}}{B_v} - \ln(Z_v - B_v) - \frac{A_v}{B_v} \left( \frac{2\sqrt{A_{pi}}}{A_v} \right) \ln \left( \frac{Z_v + B_v}{Z_v} \right) \right).$$

Аналогичные действия проводятся и для жидкой фазы.

По уравнению (5) для каждого из компонентов вычисляются более точные константы равновесия [4]:

$$K_i = \frac{\Phi_{li}}{\Phi_{vi}} = \frac{y_i}{x_i}. \quad (5)$$

С использованием полученных ранее констант и общей доли пара по уравнениям (2) и (3) рассчитываются более точные составы фаз [5].

Далее проверяется сходимость найденных мольных долей – их сумма должна быть равна единице. И если проверка не сходится, то алгоритм повторяется еще раз. Однако при каждом новом цикле за предварительные константы берутся те, что рассчитаны в предыдущем.

Следующим этапом работы является разработка алгоритма расчета точки росы по углеводородам.

В качестве начальных условий задаются некоторое постоянное давление и заведомо низкая температура. Это обеспечивает нахождение начальной точки в однофазной, жидкой, области. Затем проводятся описанные выше вычисления. При этом проверяется значение общей доли пара – ее отличие от нуля в большую сторону. Если возвращается ложное значение, то температура увеличивается. При достижении области, где разница общей доли пара и ее значение в точке кипения составляют бесконечно малую величину  $\epsilon$ , расчет заканчивается, и программа возвращает значение температуры кипения. Аналогичные действия проводятся и для нахождения температуры конденсации. Различие заключается в том, что берется заранее низкое давление, температура не меняется, а также проверяется отличие значения общей доли пара от нуля в меньшую сторону.

Для тестирования модели был взят природный газ, свойства которого приведены в табл. 1.

Таблица 1

**Исходные данные для моделирования процесса сепарации**

Компонент	Мольная доля	Критическое давление, кПа	Критическая температура, °С	Ацентрический фактор
СН4	0,8122	4640,68	-82,45	0,0115
С2Н6	0,07	4883,85	32,28	0,0986
С3Н8	0,09	4256,66	96,75	0,1524
<i>i</i> -С4Н10	0,0448	3647,62	134,95	0,18479
<i>n</i> -С4Н10	0,041	3796,62	152,05	0,201
Н2О	0,049	22119,25	373,85	0,348

В табл. 2 представлены рассчитанные температуры для необходимого диапазона давлений.

Таблица 2

**Точки кривой кипения**

$P$ , атм	$T$ , °С
20	-121
30	-101
40	-87
50	-75
60	-66
70	-55
80	-50

С помощью найденных точек построена кривая кипения для заданной газовой смеси (рис. 1).

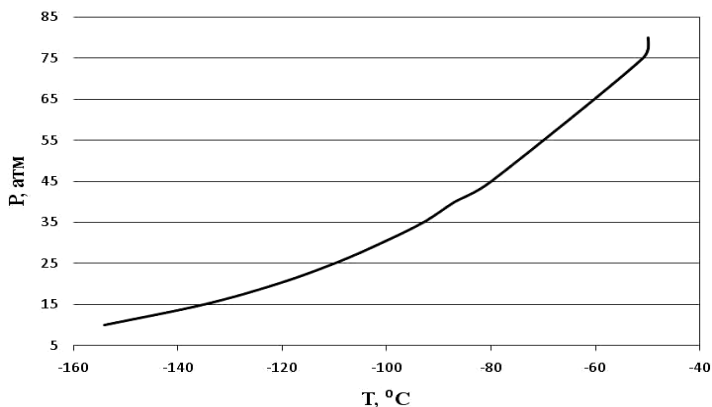


Рис. 1. Кривая кипения углеводородной смеси

Таким образом, модель способна находить точки кипения, множество которых образует кривую кипения, которая, в свою очередь, является частью диаграммы состояния смеси.

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Кобиллов Х.Х., Гойибова Д.Ф., Назарова А.П. Низкотемпературная сепарация углеводородов из природного и нефтяного попутных газов // Молодой ученый. – 2015. – №7. – С. 153–155.
2. Peng D., Robinson D.B. A New Two-Constant Equation of State// Ind. Eng. Chem., Fundam. – 1976. – Vol.15, Iss. 1. – P. 59–64.
3. Soave G. Improvement of the Van Der Waals Equation of State // Chem. Eng. Sci. – 1984. – Vol. 39, Iss. 2. – P. 357– 369.

4. Баталин О.Ю., Брусиловский А.И., Захаров М.Ю. Фазовые равновесия в системах природных углеводородов // Недр. – 1992. – 272 с.

5. Siebert A.G. Improvement of the separation equipment based on the phase state of gas-liquid mixture // Natural Gas industry. – 2010. – Vol. 4. – P. 49–52.

## МЕТОДЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ОПТИМАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ РЕСУРСОВ НА ПРЕДПРИЯТИИ

*С.Н. Дронова, студентка*

*Научный руководитель Е.А. Шельмина, доцент каф. ЭМИС, к.ф.-м.н.  
г. Томск, ТУСУР, каф. ЭМИС, dronovasvetlanan@gmail.com*

Для обеспечения максимальной эффективности планирования производства используются математические методы в экономике. Эти методы позволяют из совокупности существующих решений отыскивать оптимальное, т.е. такое решение, которое обеспечивает достижение цели в рассматриваемых условиях с максимальным эффектом. Моделирование конкретных систем при выработке оптимальных решений невозможно без использования вычислительной техники [1].

Целью работы является исследование и программная реализация численных методов решения задач оптимального распределения ресурсов на предприятии, удовлетворяющего условиям функционирования реальных экономических процессов, представленных в нелинейном виде.

Общая задача нелинейного программирования (ЗНП) определяется как задача нахождения максимума (минимума) целевой функции  $f(x_1, x_2, \dots, x_n)$  на множестве  $\mathbf{D}$ , определяемом системой ограничений (1), где хотя бы одна из функций  $f$  или  $g_i$  является нелинейной [2]:

$$\mathbf{D} \left\{ x \in R^n \left\{ \begin{array}{l} g_i(x_1, x_2, \dots, x_n) \leq 0, \quad i \in \overline{1, r} \\ g_i(x_1, x_2, \dots, x_n) = 0, \quad i \in \overline{r+1, m} \end{array} \right. \right\}. \quad (1)$$

Набор ограничений, определяющих множество  $D$ , при необходимости приводится к системе, состоящей из одних неравенств (2):

$$g(x) = 0 \leftrightarrow \begin{cases} g(x) \geq 0; \\ -g(x) \geq 0. \end{cases} \quad (2)$$

В данной статье рассматриваются методы, основанные на преобразовании задачи условной оптимизации в последовательность задач безусловной оптимизации: методы штрафных функций, метод внутренних штрафных функций, метод внешних штрафных функций, метод Хука–Дживса, метод Розенброка и др.

Методы штрафных функций относятся к группе непрямых методов решения ЗНП, которые преобразуют задачу с ограничениями в последовательность задач безусловной оптимизации вспомогательных функций путем добавления к целевой функции функций ограничений.

Метод внутренних штрафных функций применяется для решения задач с ограничениями-неравенствами. Функция  $\Phi(x, a)$  подбирается таким образом, чтобы их значения неограниченно возрастали при приближении к границе допустимой области  $R$ , т.е. приближение к границе «штрафуется» резким увеличением значения функции  $F(x, a)$ . Поиск минимума (максимума) вспомогательной функции  $F(x, a)$  необходимо начинать с внутренней точки области  $R$ . При этом в процессе оптимизации траектория никогда не выйдет за пределы допустимой области [3]. К достоинству этого метода можно отнести то, что в процессе оптимизации траектория спуска не выходит за пределы допустимой области. Недостатком является то, что для задания начальной допустимой точки может потребоваться решить задачу, по сложности сравнимую с исходной ЗНП.

Методы внешних штрафных функций применяются для решения задачи оптимизации с ограничениями-равенствами и с ограничениями-неравенствами. Функция  $\Phi(x, a)$  выбирается такой, что её значение равно нулю внутри и на границе допустимой области  $R$ , а вне её – положительна и возрастает тем больше, чем сильнее нарушаются ограничения. Таким образом, «штрафуется» удаление от допустимой области  $R$  [3]. Достоинством метода является решение задачи из любой начальной точки. Недостатки метода: сложность вспомогательной функции  $F(x, a)$ , которая может иметь овражную структуру. При больших значениях  $a$  точность вычислений  $F(x, a)$  уменьшается из-за ошибок округления ЭВМ. А также решение не лежит во множестве допустимых решений, т.е. ограничения задачи не выполняются. С ростом параметра штрафа генерируемые алгоритмом точки приближаются к решению исходной задачи извне множества допустимых решений [4].

Также для решения задач оптимизации с ограничениями может быть использован метод Хука–Дживса. Процедура поиска минимума целевой функции дополняется проверкой принадлежности изменяемых переменных области допустимых решений, определяемой ограничениями задачи. Если переменная выходит за допустимую область, то целевой функции присваивается некоторое большое предварительно заданное значение. В случае принадлежности значений переменных области допустимых решений общая процедура решения задачи не изменяется [5]. Достоинством метода является вычисление только

значений функции, а также то, что учитываются сложные ограничения на области поиска. К недостаткам можно отнести то, что алгоритм метода основан на циклическом движении по координатам, это может привести к вырождению алгоритма в бесконечную последовательность исследующих поисков без поиска по образцу. Также в случае сильно вытянутых, изогнутых или обладающих острыми углами линий уровня целевой функции метод может оказаться неспособным обеспечить продвижение к точке минимума.

Метод Розенброка производит вращение системы координат в соответствии с изменением скорости убывания целевой функции. Новые направления координатных осей определяются таким образом, чтобы одна из них соответствовала направлению наиболее быстрого убывания целевой функции, а остальные находятся из условия ортогональности Грама–Шмидта. Достоинство: величина шага в процессе поиска оптимальной точки непрерывно изменяется в зависимости от рельефа поверхности уровня. Недостатком является то, что процедура ортогонализации Грама–Шмидта требует памяти порядка  $n^2$ , в отличие от метода Хука–Дживса, использующего память порядка  $n$  [6].

Метод деформируемого многогранника Нелдера–Мида заключается в сравнении значений функции в вершинах симплекса и перемещении симплекса в направлении оптимальной точки с помощью итерационной процедуры. Симплексы могут быть неправильными. Метод является эффективным при  $n$ , меньшим либо равным шести. Недостатком метода является отсутствие теории сходимости и наличие примеров, когда метод расходится даже на гладких функциях [6].

В рамках представляемой работы была осуществлена программная реализация численного решения тестовой ЗНП с помощью описанных методов. Для этого использовалась среда разработки Microsoft Visual Studio. В результате анализа работы программы получено, что для решения ЗНП с ограничениями подходит метод внутренних штрафных функций, т.к. найденное оптимальное решение лежит в пределах допустимой области, в отличие от внешних штрафных функций. Также подходит метод Хука–Дживса, где направление максимизации определяется последовательными вычислениями значений функции. Но для реализации модифицированного метода Хука–Дживса с целью уменьшения относительной ошибки следует понижать значение коэффициента уменьшения шага, хотя это может привести к увеличению числа итераций, т.е. к уменьшению скорости сходимости метода. Для реализации метода внутренних штрафных функций с целью уменьшения относительной ошибки следует понижать значение коэффициента уменьшения штрафа. Но это может привести



к увеличению числа итераций, т.е. к уменьшению скорости сходимости метода.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Коробов П.Н. Математическое программирование и моделирование экономических процессов. – СПб.: СПбГЛТА, 2002. – 364 с.
2. Конюховский П.В. Математические методы исследования операций в экономике. – СПб.: Питер, 2000. – 208 с.
3. Трифонов А.Г. Постановка задачи оптимизации и численные методы ее решения. Методы штрафных функций [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://matlab.exponenta.ru/optimiz/book\\_2/3\\_4.php](http://matlab.exponenta.ru/optimiz/book_2/3_4.php) (дата обращения: 12.02.2018).
4. Городецкий С.Ю., Гришагин В.А. ННГУ. Учебный курс «Модели и методы конечномерной оптимизации». – Ч. 2: Нелинейное программирование и многоэкстремальная оптимизация [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.itlab.unn.ru/uploads/opt\\_3\\_part/02\\_np&mo/full\\_book.pdf](http://www.itlab.unn.ru/uploads/opt_3_part/02_np&mo/full_book.pdf) (дата обращения: 13.02.2018).
5. Рейзлин В.И. Методические указания к выполнению лабораторных работ по дисциплине «Методы оптимизации». – Томск: Изд-во Том. политехн. ун-та, 2008. – 45 с.
6. Трифонов А.Г. Постановка задачи оптимизации и численные методы ее решения. Методы безусловной оптимизации [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://matlab.exponenta.ru/optimiz/book\\_2/2\\_1.php](http://matlab.exponenta.ru/optimiz/book_2/2_1.php) (дата обращения: 20.02.2018).

### ВЛИЯНИЕ СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ НА ПОСЕЩЕНИЕ САЙТОВ

*С.И. Филиппова, студентка*

*г. Томск, ТУСУР, каф. БИС, Sibiria27@gmail.com*

Как известно, солнечная активность влияет на многие аспекты человеческой жизни: на здоровье, технику, погоду. Выявление зависимости между солнечной активностью и поведением человека может помочь более эффективно моделировать учебный процесс.

Геомагнитная активность – возмущения магнитного поля Земли, связанные с изменениями магнитосферно-ионосферной токовой системы.

Солнечная активность – комплекс явлений и процессов, связанных с образованием и распадом в солнечной атмосфере сильных магнитных полей [1].

Перед началом работы необходимо было проанализировать существующие исследования на данную тему. Были рассмотрены исследования на темы: влияние солнечной активности на здоровье лю-

дей на поверхности Земли; влияние геомагнитной активности на функционирование нервной системы человека; влияние солнечной активности (геомагнитных бурь) на регуляторные системы человека и адекватность его поведения в стрессовых ситуациях на земле и в космосе; влияние геомагнитной активности на электроэнцефалограмму человека; влияние магнитных бурь на особенности психофизиологического статуса у студентов. Также был произведен поиск аналогов проводимого исследования на тему «Влияние солнечной активности на посещение сайтов». Данный поиск результатов не дал.

Было замечено, что во всех исследованиях солнечная активность оказывает какое-либо влияние на людей, поэтому дальнейшие исследования на эту тему являются актуальными.

Целью проведения анализа является выявление зависимости между солнечной активностью и посещением сайтов при обнаружении какой-либо закономерности.

В ходе проведения первоначального анализа были выбраны следующие параметры сравнения: Ар-индекс [1] для солнечной активности и минимальное значение зрителей на портале GoodGame.ru за сутки. Данные собраны за сентябрь и октябрь 2017 г. График Ар-индекса за выбранный период представлен на рис. 1. График минимального значения зрителей за сутки за выбранный период представлен на рис. 2.



Рис. 1. Значения Ар-индекса

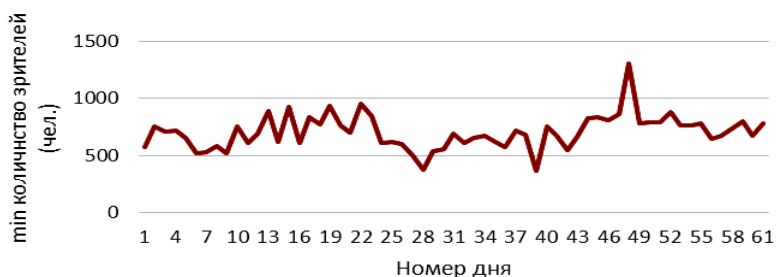


Рис. 2. Минимальное количество зрителей

Из графика, представленного на рис. 1, видно, что вспышки на солнце были на 7, 16, 28, 43-й дни. Однако пиковых значений посещаемости сайта в эти дни наглядно, опираясь на график рис. 2, обнаружить нельзя.

Было решено проверять наши ряды на наличие корреляции. В результате проведения анализа оказалось, что коэффициент корреляции статистически не значим, а по шкале Чеддока связь оценивается как слабая. Результаты вычислений представлены в табл. 1.

Таблица 1

**Вычисление параметров корреляции**

Параметр	Значение
Коэффициент корреляции	-0,2295
$T_{\text{табл}}$	12,7062
$T_{\text{набл}}$	1,811131

В связи с этим было решено использовать дополнительные проверки. Дополнительные критерии и проверки, выбранные для дальнейшего анализа: тест Чоу, проверка на наличие автокорреляции, а также проверка по критериям Крамера–Уэлча и Вилкоксона–Манна–Уитни [2, 3]. Поясним выбранные критерии.

Тест Чоу – применяемая в эконометрике процедура проверки стабильности параметров регрессионной модели, наличия структурных сдвигов в выборке. Фактически тест проверяет неоднородность выборки в контексте регрессионной модели.

Критерий Чоу вычисляется по следующей формуле:

$$F(T_2) = \frac{(RSS - RSS_1 - RSS_2)/k}{(RSS + RSS_2)/(n - 2k)}. \quad (1)$$

Полученное значение сравнивается с критическим табличным значением при определенном уровне значимости (в нашем случае  $\alpha = 0,05$ ).

Результаты применения теста Чоу представлены в табл. 2.

Таблица 2

**Вычисление критерия Чоу**

Параметр	Значение
$F(T_2)$	2,140179
$F_{\text{табл}}$	3,340386

Наблюдаемое значение статистики получилось меньше табличного, значит, гипотеза об ограничениях принимается в пользу длинной модели, то есть выборки признаются однородными и нет необходимости строить две разные модели для выборок.

При наличии во временном ряду тенденции и циклических колебаний значения каждого последующего уровня зависят от предыдущих. Корреляционную зависимость между последовательными уровнями временного ряда называют автокорреляцией уровней ряда. График зависимости ее значений от величины лага называется коррелограммой (рис. 3).



Рис. 3. Коррелограмма

Наиболее высоким оказался коэффициент автокорреляции первого порядка, значит, исследуемый ряд содержит только тенденцию. Следовательно, циклов в данном ряду нет.

*U*-критерий Манна–Уитни – непараметрический статистический критерий, используемый для оценки различий между двумя выборками по признаку, измеренному в количественной или порядковой шкале.

Значение критерия вычисляется по формуле

$$U = n_1 \times n_2 + \frac{n_x \times (n_x + 1)}{2} - T_x. \quad (2)$$

Полученное значение *U*-критерия сравнивается по таблице для избранного уровня статистической значимости (в нашем случае  $\alpha = 0,05$ ) с критическим значением *U* при заданной численности сопоставляемых выборок.

Результат вычисления представлен в табл. 3.

Таблица 3  
Вычисление критерия Вилкоксона–Манна–Уитни

Параметр	Значение
$U_{\text{эмп}}$	0
$U_{\text{табл}}$	1486

Иногда *t*-критерий Стьюдента заменяют более простым критерием Крамера–Уэлча. Данный критерий также используется для оценки различий между двумя выборками.

Эмпирическое значение данного критерия рассчитывается по следующей формуле:

$$T_{\text{эмп}} = \frac{|x - y|}{\sqrt{n_1 \times D_x \times n_2 \times D_y}} \times \sqrt{n_1 \times n_2} . \quad (3)$$

Результат вычисления представлен в табл. 4.

Т а б л и ц а 4  
Вычисление критерия Крамера–Уэлча

Параметр	Значение
$T_{\text{эмп}}$	36,00801
$T_{\text{крит}}$	12,7062

По результату последних двух критериев ( $U_{\text{эмп}} < U_{\text{табл}}$  и  $T_{\text{эмп}} > T_{\text{крит}}$ ) оказалось, что различие в данных выборках определяется как существенное. Достоверность различий характеристик сравниваемых выборок составляет 95%.

**Заключение.** В результате анализа коэффициент корреляции оказался статистически незначим, однако проверки с помощью теста Чоу, критерия Вилкоксона–Манна–Уитни, критерия Крамера–Уэлча и проверка на наличие автокорреляции показали, что данный ряд можно использовать для дальнейшего анализа.

Однако было замечено, что для более полного анализа выборки, состоящей из двух месяцев, недостаточно, нужно рассматривать более длительный временной промежуток.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Портал SpaceWeatherLive [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.spaceweatherlive.com/en/archive>
2. Елисеева И.И., Курьшева С.В., Костеева Т.В. Эконометрика. – М.: Финансы и статистика, 2003. – 346 с.
3. Новиков Д.А. Статистические методы в педагогических исследованиях (типовые случаи) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://methodolog.ru/books/pendstat.pdf>

### АЛГОРИТМ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ АППРОКСИМАЦИИ ЧЕРЕЗ ЗАДАЧУ МНОГОМЕРНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ

*М.И. Кочергин, аспирант*

*Научный руководитель В.М. Дмитриев, проф. КСУП, д.т.н.  
г. Томск, ТУСУР, каф. КСУП, max24kochergin@gmail.com*

Результатом компьютерного моделирования часто становятся массивы численной информации. Эта информация носит приближенный характер ввиду случайных ошибок, погрешностей используемых численных методов, неточности измерительных приборов (исполь-

зуемых, например, в качестве начальных данных) и пр. Такие данные подлежат обработке, целью которой могут быть: 1) удаление шума, сглаживание функции; 2) поиск закономерностей в данных, нахождение аналитической формы исследуемой зависимости; 3) сжатие информации для экономии памяти или повышения скорости передачи; 4) определение промежуточных значений зависимости (внутри или вне имеющегося дискретного набора) [1].

Стандартным методом для непрерывной аппроксимации является метод наименьших квадратов (МНК), который предполагает построение системы линейных алгебраических уравнений (СЛАУ) с опорой на необходимое условие экстремума ( $f'(x) = 0$ ), решением которой и являются коэффициенты приближающей функции заданного вида, обеспечивающие минимальное среднеквадратичное отклонение в дискретных узлах. Выбор приближающей функции осуществляется пользователем, как правило, из фиксированного списка на основании одного из критериев качества приближения (погрешности аппроксимации). При этом не всегда погрешность лучшей (из имеющегося списка) приближающей функции является приемлемой, а использование МНК для аппроксимации данных «пользовательской» функцией требует процедуры нахождения частных производных этой функции. Альтернативным решением может служить переход от построения СЛАУ с применением аналитического дифференцирования к решению задачи многомерной оптимизации целевой функции, которая представляет собой критерий оценки погрешности приближения.

Целью статьи является представление алгоритма предлагаемого метода аппроксимации на основе методов многомерной оптимизации по критерию среднеквадратичного отклонения приближающей функции в дискретных узлах.

**Алгоритм численной аппроксимации на основе методов многомерной оптимизации.** В качестве критерия качества приближения предлагается использовать среднеквадратичное отклонение в узлах табличной функции. В результате получаем задачу многомерной оптимизации целевой функции  $f(x, a, b, c)$  по критерию

$$\sqrt{\sum_i (y_{\text{табл}_i} - f(x_i, a, b, c))^2} \rightarrow \min, \text{ где } x_i - \text{аргументы табличной функ-}$$

ции;  $a, b, c$  – параметры приближающей функции. Представим алгоритм численной аппроксимации следующими шагами:

- 1) выбор приближающей функции;
- 2) наложение сетки на многомерную поверхность целевой функции и вычисление значений целевой функции в узлах;
- 3) выбор точки для покоординатного спуска;

4) выбор оси и интервала для поиска  $\min$  значения на этой оси;  
 5) оптимизации функции одной переменной (по одной оси) методом золотого сечения;

6) проверка условия завершения итерационного процесса: в случае невыполнения переходим к шагу 4, иначе конец алгоритма.

На этапе 3 представляется возможным выбор нескольких точек для последовательного поиска минимума из каждой. Все найденные на этапе 6 локальные минимумы также могут быть проверены на устойчивость путём исследования их окрестностей. Вследствие этого представляется возможным найти не только глобальный, но и наиболее устойчивый из нескольких локальных минимумов.

Сравним результаты применения предлагаемого метода и МНК для аппроксимации траектории полёта тела в атмосфере, состоящей из 17 узлов табличной функции и полученной в результате компьютерного моделирования [2]. Для обоих методов в качестве приближающей функции была выбрана квадратичная функция  $f(x) = a \cdot x^2 + b \cdot x + c$ . Результаты аппроксимации зависимости  $y(x)$  представлены с округлением до 5 знаков в таблице.

**Сравнение результатов аппроксимации**

Метод	Аппроксимация зависимости $y(x)$			
	Значения коэффициентов			$\sigma$
	$a$	$b$	$c$	
МНК	-0,10876	1,11224	-0,03165	0,016285
Метод многомерной оптимизации	-0,10872	1,11175	-0,03076	0,016291
$\delta, \%$	0,04168	0,04503	2,80675	0,03681

СЛАУ для МНК составлена вручную (ввиду необходимости нахождения частных производных), для её решения реализован метод Гаусса. Для описываемого метода были заданы следующие параметры: шаг метода сеток – 0,25, для начального приближения по всем трём координатам выбран интервал  $[-2, 2]$ , заданная точность для метода золотого сечения –  $10^{-6}$ .

Таким образом, при заданных условиях описываемый метод аппроксимации обеспечивает точность, сравнимую с точностью метода наименьших квадратов. При этом применение данного метода не ограничивает пользователя списком встроенных приближающих функций – пользователь может сам ввести вид требуемой функции (в аналитическом виде в интерактивную математическую панель [3]), получить значения её параметров, обеспечивающие минимальное средне-квадратичное отклонение.

**Заключение.** Преимуществом рассматриваемого метода аппроксимации является то, что он не требует информации о производных приближающей функции (в отличие от метода наименьших квадратов), а следовательно, позволяет в автоматизированном режиме использовать любые функции, введённые пользователем в интерактивную математическую панель СМ MAPC в качестве приближающих. Применение метода сеток позволяет находить несколько локальных минимумов, что делает возможным решение задачи глобальной оптимизации. Рассмотренный пример аппроксимации траектории полёта тела в атмосфере иллюстрирует сопоставимость результатов предлагаемого метода и метода наименьших квадратов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Бердышев В.И., Петрак Л.В. Аппроксимация функций, сжатие численной информации, приложения. – Екатеринбург: УрО РАН, 1999.

2. Кочергин М.И. Компьютерное моделирование полета тела в атмосфере для образовательных целей // Новые информационные технологии и системы: сб. науч. ст. XIV Междунар. науч.-техн. конф., посвящ. 70-летию каф. «Вычислительная техника» и 30-летию каф. «Системы автоматизированного проектирования» (г. Пенза, 22–24 ноября 2017 г.). – Пенза: Изд. ПГУ, 2017. – С. 400–404.

3. Кочергин М.И. Применение интерактивных математических панелей для моделирования физических задач в рамках среды многоуровневого моделирования // Моделирование. Фундаментальные исследования, теория, методы и средства: матер. 17-й Междунар. науч.-практ. конф., г. Новочеркасск, 26–27 сент. 2017 г. / Южно-Российский гос. политехн. ун-т (НПИ) им. М.И. Платова. – Новочеркасск: Лик, 2017. – С. 54–60.

#### УПРАВЛЕНИЕ МАЛЫМ БЕСПИЛОТНЫМ ЛЕТАТЕЛЬНЫМ АППАРАТОМ НА ОСНОВЕ ЗРИТЕЛЬНОГО ВОСПРИЯТИЯ

*А.Е. Косова, аспирантка*

*Научный руководитель А.М. Кориков, зав. каф. АСУ, проф., д.т.н.  
г. Томск, ТУСУР, каф. АСУ, kosova\_ae@mail.ru*

Воздушная робототехника является быстро развивающейся областью робототехники, быстро набирает популярность. К примеру, квадрокоптеры стали стандартной платформой для исследований робототехники по всему миру. Они уже обладают достаточной полезной нагрузкой и продолжительностью полёта, имеют программное обеспечение для полётов внутри помещения и на открытой местности, улучшенными батареями и другими технологиями. Стремительно растёт объём коммерческих возможностей. Малые летательные аппа-



раты обладают высокой маневренностью, позволяют безопасно и недорого проводить эксперименты в картографии, навигации и стратегиях управления для роботов, которые движутся в трёхмерном (3D) пространстве. Эта способность двигаться в 3D-пространстве приносит новые проблемы исследования по сравнению с теми, которые были на колёсных мобильных роботах, исследующихся ранее. Небольшие квадрокоптеры используются для изучения и картографирования 3D-среды, транспортировки, манипулирования и монтажа объектов, выполняют акробатические трюки, такие как жонглирование, балансировка и сальто.

Далее приводится пример визуального сервопривода на основе изображения для малых беспилотных летательных аппаратов (МБПЛА), имеющих электрический привод и массой менее 1 кг.

Существует два подхода к вопросу управления МБПЛА на основе визуальной информации. Первый – использовать классические роботизированные методы одновременной локализации и построения карты, учитывая, что оценки окружения и состояния по своей сути являются трёхмерными. В настоящее время многие исследователи работают над этой проблемой, и далее не рассматривается этот случай. Второй подход – это прямое сенсорное управление [1], которое чаще всего относится к случаю, основанному на визуальном сервоуправлении на основе изображений [2–5]. Движение точки на изображении является функцией его координаты  $(u, v)$  и движения камеры:

$$\begin{pmatrix} \dot{u} \\ \dot{v} \end{pmatrix} = J(u, v, Z)v, \quad (1)$$

где  $Z$  – глубина точки,  $v = (v_x, v_y, v_z, \omega_x, \omega_y, \omega_z)^T$  – пространственная скорость камеры (и аппарата), а  $J(\square)$  – визуальный якобиан или матрица взаимодействия.  $j$  можно сформировать для перспективной камеры [6], где  $(u, v)$  – пиксельные координаты, или для сферической камеры, где  $(u, v)$  – широта и долгота. Движением по тангажу и наклону МБПЛА управляет подсистема, которая позволяет удерживать положение или следовать по траектории в пространстве, что вызывает движение изображения. Запишем уравнение в следующем виде:

$$\begin{pmatrix} \dot{u} \\ \dot{v} \end{pmatrix} = J_1(u, v)(v_x, v_y, v_z, \omega_z)^T + J_2(u, v) \begin{pmatrix} \omega_x \\ \omega_y \end{pmatrix}, \quad (2)$$

где самый правый член описывает движение изображения из-за экзогенного движения крена и тангажа. Перестраивая, можно записать:

$$\begin{pmatrix} \dot{u}' \\ \dot{v}' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \dot{u} \\ \dot{v} \end{pmatrix}^T - J_2(u, v) \begin{pmatrix} \omega_x \\ \omega_y \end{pmatrix}, \quad (3)$$

$$J_1(u, v) (v_x, v_y, v_z, \omega_z)^T, \quad (4)$$

где  $(u', v')$  представляют точки изображения, для которых движение крена и тангажа было удалено на основе знания  $\omega_x$  и  $\omega_y$ , которые могут быть получены из гироскопов.

Теперь рассмотрим точку на изображении  $(u'_i, v'_i)$  и её желаемое место на изображении  $(u_i^*, v_i^*)$ . Это желаемое положение может быть получено из моментального снимка сцены, когда аппарат находился в желаемой позиции, к которой необходимо вернуться. Таким образом, желаемое движение изображения  $(u_i^*, v_i^*) = \lambda(u_i^* \circ u'_i, v_i^* \circ v'_i)$ , где оператор  $\circ$  представляет собой разницу на плоскости изображения или сфере. Для  $N$  точек можно записать:

$$\lambda \begin{pmatrix} \dot{u}_i^* \\ v_i^* \\ \vdots \\ \dot{u}_N^* \\ v_N^* \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} J_1(u_1, v_1) \\ \vdots \\ J_1(u_N, v_N) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \omega_x \\ \omega_y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} J_2(u_1, v_1) \\ \vdots \\ J_2(u_N, v_N) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} v_x \\ v_y \\ v_z \\ \omega_z \end{pmatrix}, \quad (5)$$

$$\mathbf{B} = \begin{pmatrix} J_2(u_1, v_1) \\ \vdots \\ J_2(u_N, v_N) \end{pmatrix}.$$

Если  $N > 2$  и матрица  $\mathbf{B}$  неособая (невырожденная), то можно решить её для требуемой поступательной и угловой скорости, чтобы переместить аппарат в позицию, где характеристики точки имеют желаемые координаты изображения  $(u_i^*, v_i^*)$ , желаемая скорость вводится в систему управления.

**Заключение.** Приведён пример визуального сервопривода на основе изображений для МБПЛА. Этот метод может применяться для более широкого круга задач, таких как удержание положения, пути следования, обигание препятствий и посадка МБПЛА.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Corke P., Lobo J., Dias J. An introduction to inertial and visual sensing // Int. J. Robot. Res. – June 2007. – Vol. 26, No. 6. – P. 519–536.
2. Hamel T., Mahony R. Visual servoing of an under-actuated dynamic rigid-body system: An image based approach // IEEE Trans. Robot. Automat. – Apr. 2002. – Vol. 18, No. 2. – P. 187–198.
3. Guenard N., Hamel T., Mahony R. A practical visual servo control for a unmanned aerial vehicle // IEEE Trans. Robot. Apr. – 2008. – Vol. 24, No. 2. – P. 331–341.

4. Mahony R., Corke P., Hamel T. Dynamic image-based visual servo control using centroid and optic flow features // J. Dynamic. Syst., Meas. Contr. – Jan. 2008. – Vol. 130, No. 1. –12 p.

5. Hutchinson S., Hager G., Corke P. A tutorial on visual servo control // IEEE Trans. Robot. Autom. Oct. 1996. – Vol. 12, No. 5. – P. 651–670.

6. Corke P. I. Spherical image-based visual servo and structure estimation // in Proc. IEEE Int. Conf. Robotics and Automation, Anchorage, AK. – May 2010. – P. 5550–5555.

## **АЛГОРИТМЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОЦЕНОЧНЫХ ПАРАМЕТРОВ СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТОЙ СИСТЕМЫ ПЛОДА В СИСТЕМЕ МОБИЛЬНОГО МОНИТОРИНГА**

***Я.В. Костелей, аспирант каф. ЭМИС,***

***инж.-программист ООО «Диагностика+»;***

***Д.С. Жданов, с.н.с. ООО «Диагностика+», к.т.н.***

*Научный руководитель И.Г. Боровской, зав. каф. ЭМИС, д.ф.-м.н., проф.  
г. Томск, ТУСУР, yaninabaler@mail.ru*

Мониторное наблюдение за сердечной деятельностью плода значительно расширяет возможности ante- и интранатальной диагностики, позволяет эффективно решать вопросы рациональной тактики ведения беременности и родов и тем самым снижать показатели перинатальной заболеваемости и смертности [1]. Коллектив ООО «Диагностика+» в рамках проекта «Разработка устройства суточного мониторинга состояния плода и матери во время беременности посредством контроля параметров сердечно-сосудистой системы на основе акустических данных» производит работу над разработкой фетального монитора. Фетальный монитор представляет собой программно-аппаратный комплекс, включающий устройство захвата акустического сигнала и смартфона, на котором установлено приложение, производящее обработку приходящего сигнала. Программное обеспечение устройства обрабатывает сигнал с целью получения кардиоинтервалограммы (КИГ) и других параметров. Целью работы является разработка программного обеспечения для Android-устройства, реализующего обработку акустического сигнала, получаемую с аппаратной части системы, для оценки функционального состояния (ССС) плода.

Общая архитектура взаимодействия мобильного приложения и устройства выглядит следующим образом: по протоколу Bluetooth мобильным приложением осуществляется захват пакетов акустического сигнала, который накапливается в памяти устройства в специализированные буферы приложения. Затем запускается поток обработ-

ки сигнала, обеспечивающий фильтрацию данных, описанную в работе [2], построение и обработку КИГ с целью получения параметров оценки функционального состояния ССС плода.

В качестве параметров оценки состояния плода используются следующие параметры: частота сердечных сокращений (ЧСС) в минуту, базальный ритм (БР) – среднее число сердечных сокращений без учета акцелераций и децелераций (увеличение или падение ЧСС на 15 и более уд./мин продолжительностью 15 и более секунд), количество и длина осцилляций (пикообразное возрастание ЧСС над БР), акцелераций и децелераций – учет вариабельности ритма, STV – короткая вариабельность.

Перед непосредственной обработкой ЧСС производится изменение частоты дискретизации на количество раз, кратное 3,75 и 5 с (для меньшего влияния на значение STV и детектированию акцелераций/децелераций). При наборе 20-минутного сигнала использовался базовый алгоритм получения БР ЧСС (для первых 20 мин используется неточный упрощенный алгоритм). Для этого использовалась модификация алгоритмов, предложенных Dawes и Mantel [3, 4]. Для каждой точки производится обработка, изменяющая скользящую БР в диапазоне 15 мин слева и 5 мин справа. Интервалы обрабатываются на 5 итерациях, которые включают сглаживание и исключение участков возможных акцелераций и децелераций.

Для сглаживания используется фильтр низких частот следующего вида:

$$b_i = 0,975 \cdot b_{i-1} + 0,025 \cdot b_i, \quad (1)$$

где  $b_i$  – значение базального ритма.

Начальное значение  $b_0$ , устанавливалось равным пороговому уровню  $P$ , введенному Dawes [3]. На каждой итерации происходит обратный и прямой проход по модифицируемому сигналу. Его участки заменяются на участки текущего БР, если между ними существует отклонение более 50 мс [3].

Таким образом, 5 итераций включают в себя следующие пункты:  
– получение текущего базального ритма путем сглаживания;  
– исключение участков возможных акцелераций и децелераций и сглаживание текущих результатов (допустимое отклонение описывается пороговыми значениями, указанными Mantel [4]).

Результаты обработки вторым алгоритмом представлены на рис. 1.

Для детектирования осцилляций используются простейший алгоритм: если кривая ЧСС пересекает БР, то значит, за данным пересечением будет следовать осцилляция. Пока не встречается следующее пересечение, определяется максимальное отклонение ЧСС от БР. При

детектировании пересечения проверяется длина осцилляции и амплитуда. Если она превышает 15 уд./мин и 15 с, то обозначаем акселерацию или децелерацию. Иначе заносим значение амплитуды для расчета амплитуды осцилляций и число пересечений для учета частоты осцилляций.

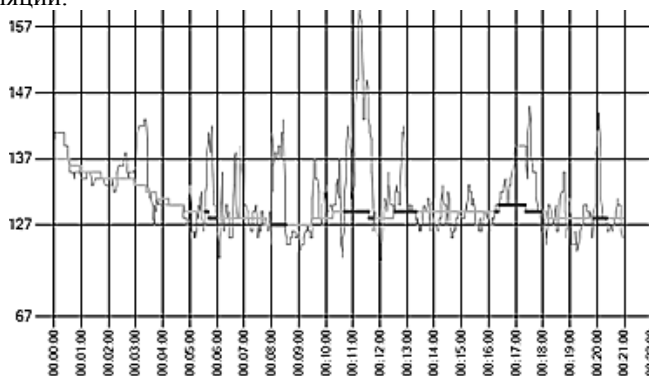


Рис. 1. Расчет базального ритма вторым алгоритмом

В рамках данных результатов выполнения работы реализовано приложение, организующее захват и обработку сигнала с устройства, разработан алгоритм обработки сигнала и анализа ЧСС. Сформирован механизм получения оценки ССС плода.

Работа выполнена при выполнении работ по Соглашению № 14.579.21.0019 (уникальный идентификатор проекта – RFMEFI 57914X0019) на тему «Разработка устройства суточного мониторинга состояния плода и матери во время беременности посредством контроля параметров сердечно-сосудистой системы на основе акустических данных», заключенному между ООО «Диагностика +» и Министерством образования и науки РФ.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Сидорова И.С., Кулаков В.И., Макаров И.О. Определение реактивности сердечно-сосудистой системы плода по данным кардиотокографии во время беременности и в родах // Руководство по акушерству. – 2006.
2. Kiseleva E., Zhdanov D., Zemlyakov I., Vaganova E., Yuryev S. Allocation of Fetal Heart Tones During Non-stop Monitoring of Pregnant Women // Advances in Computer Science Research. – 2016.
3. Dawes G.S., Houghton G.R.S., Redman C.W.G. Baseline in human fetal heart-rate records // British Journal of Obstetrics and Gynaecology. – 1982. – Vol. 89. – P. 270–275.
4. Mantel R. Computer analysis of antepartum fetal heart rate: 1. Baseline determination // International Journal of Bio-Medical Computing. – 1990. – Vol. 25. – P. 261–272.

## ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ ФБУ «ТОМСКИЙ ЦСМ»

*Е.В. Опаров, студент, Е.Г. Годенова, доцент, к.ф.-м.н.*

*г. Томск, ТУСУР, каф. УИ, qp38eao@gmail.com, jane-ohara@ya.ru*

Основной принцип процессного подхода заключается в структурировании деятельности организации в соответствии с ее бизнес-процессами, а не организационно-штатной структурой. Именно бизнес-процессы, формирующие значимый для потребителя результат, представляют ценность, и их улучшение представляется главной задачей предприятия. Метод SADT (IDEF0) (Structured Analysis and Design Technique) считается классическим методом процессного подхода к управлению. Метод SADT представляет собой совокупность правил и процедур, предназначенных для построения функциональной модели объекта какой-либо предметной области [1].

В данной работе приводятся особенности построения функциональной модели процесса метрологического обеспечения для ФБУ «Томский ЦСМ». Данный процесс является одним из основных процессов, поскольку учреждение обеспечивает единство измерений, осуществляет государственное регулирование и оценку соответствия в регионе. Территориально ФБУ «Томский ЦСМ» располагается в г. Томске, а также имеет филиалы в г. Стрежевой и г. Колпашево.

Основной задачей работы являлось описание деятельности по метрологическому обеспечению в ФБУ «Томский ЦСМ» при помощи функционального моделирования. Представленная в работе модель является моделью «AS-IS» («Как есть») существующей организации работы.

**Результаты моделирования.** В результате опроса сотрудников, анализа нормативных документов, анализа электронных ресурсов организации были выделены основные процессы деятельности ФБУ «Томский ЦСМ». На основании этого была построена контекстная диаграмма. Для моделирования выбрана нотация IDEF0, удобная своей наглядностью, простотой, высокой скоростью создания модели.

Разработанная контекстная диаграмма состоит из трех функциональных блоков, отражающих основную деятельность компании: «Сертификация», «Стандартизация», «Метрология». Поскольку в работе рассматривается процесс метрологического обеспечения, то далее будет рассмотрена функциональная декомпозиция работы «Метрология», диаграмма которой представлена на рис. 1. Диаграмма демонстрирует процесс метрологического обеспечения в графическом виде.

Диаграмма позволяет наглядно отобразить ресурсы, необходимые для выполнения каждой работы, а также документы, которыми эти работы руководствуются. Применительно к рис. 1 такими документами являются: законы РФ, договор с клиентом, действующие стандарты, приказы, методики поверки и испытаний.

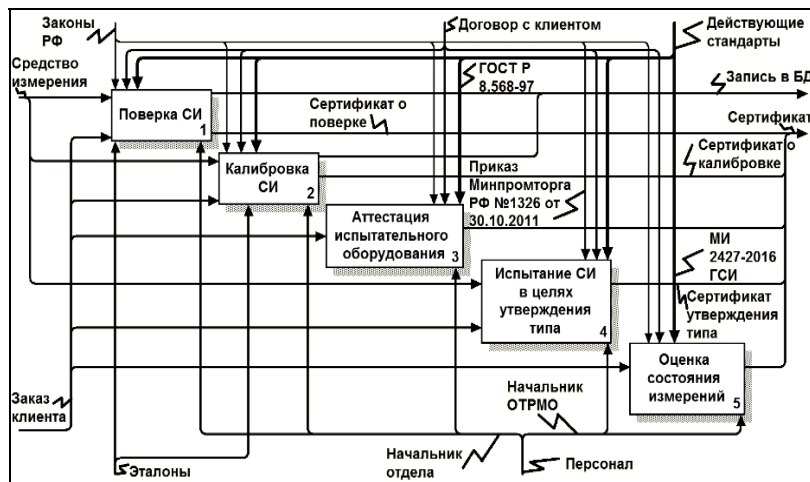


Рис. 1. Диаграмма декомпозиции функционального блока «Метрология»

Работа АЗ «Метрология» состоит из пяти дочерних работ:

- а) АЗ.1 «Поверка средств измерения»;
- б) АЗ.2 «Калибровка средств измерения»;
- в) АЗ.3 «Аттестация испытательного оборудования»;
- г) АЗ.4 «Испытание средства измерения в целях утверждения его типа»;
- д) АЗ.5 «Оценка состояния измерений».

Входной информацией для всех работ является «Заказ клиента». Кроме того, выполнение работ по поверке средств измерений (далее по тексту – СИ) и калибровке СИ задействует средства измерения в качестве входной информации.

В качестве ресурсов для поверки и калибровки СИ применяются эталоны. Для остальных работ требуется привлечение следующего персонала в зависимости от типа средства измерения:

**Поверка СИ, калибровка СИ, аттестация испытательного оборудования** выполняются начальником отдела теплотехнических и физико-химических СИ, начальником отдела геометрических и механических СИ, начальником отдела радиотехнических СИ, начальником отдела электромагнитных СИ, инженером по метрологии.

**Испытание СИ в целях утверждения типа, оценка состояния измерений** выполняются начальником отдела технического регулирования и метрологического обеспечения, техником по метрологии.

Выходной информацией для каждой работы является выдача сертификата о соответствующей проведенной процедуре. Кроме того, средства измерений, прошедшие калибровку и поверку, записываются в государственную базу данных учета средств измерений.

**Заключение.** Разработанная функциональная модель позволила получить представление о существующей схеме работы в ФБУ «Томский ЦСМ». Рассмотренный процесс метрологического обеспечения является одной из составляющих родительской работы «Деятельность Томского ЦСМ». Разработка модели «AS-IS» позволила проанализировать входы, выходы, ресурсы и контролирующие документы каждой из работ по метрологическому обеспечению. Полученные результаты моделирования в дальнейшем будут использованы для анализа неоптимизированных потоков данных, выявления «проблемных мест», составления рекомендаций по возможной реорганизации или внесения изменений в работу компании.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Функциональная модель IDEF0. Графический язык модели. Примеры // E-duc.ru. Заботься об образовании [Электронный ресурс]. – URL: <https://e-educ.ru/bd13.html> (дата обращения: 23.02.2018).

2. Знакомство с нотацией IDEF0 и пример использования // Сайт Хабрахабр [Электронный ресурс]. – URL: <https://habrahabr.ru/company/trinion/blog/322832/> (дата обращения: 19.02.2018).

3. Официальный сайт ФБУ «Государственный региональный центр стандартизации, метрологии и испытаний в Томской области» [Электронный ресурс]. – URL: <http://tomsksesm.ru/> (дата обращения: 19.02.2018).

4. РД IDEF 0–2000. Методология функционального моделирования ideo // Внесен научно-исследовательским центром CALS-технологий «Прикладная Логистика».

#### ИССЛЕДОВАНИЕ ФИБОНАЧЧИЕВОГО АНАЛОГО-ЦИФРОВОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ

*С. Рысбеков, А. Азизов, Д. Боранбаев, Д. Шарипова, магистранты*

*Научный руководитель А.В. Новиков, к.т.н., доцент каф. РТС*

*г. Томск, ТУСУР, каф. РТС, rysbekov\_sungat@mail.ru*

Аналого-цифровое преобразование заключается в преобразовании информации, содержащейся в аналоговом сигнале, в цифровой код.

Аналого-цифровые преобразователи выполняют несколько функций: временная дискретизация, квантование по уровню и кодирование.



Числа Фибоначчи – это элементы числовой последовательности, в которой каждое следующее число равно сумме двух предыдущих: 1, 1, 2, 3, 5, 8, 13, 21, 34, 55, 89, 144, 233, 377, 610, ... [1].

Известно, что алгоритмы функционирования и структурные схемы АЦП в кодах Фибоначчи ничем принципиально не отличаются от алгоритмов и структурных схем АЦП в классическом двоичном коде [2]. Однако положенные в основу этих кодов избыточные соотношения, связывающие веса двоичных разрядов, придают АЦП в кодах Фибоначчи ряд новых качественных свойств, в частности, возможность обнаружения и исправления некоторых ошибок [2].

Целью данной работы является изучение принципа аналого-цифрового преобразования по степеням двойки и по числам Фибоначчи, а также моделирование в интерактивной среде разработки Matlab.

При преобразовании допустим величину 46, на выходе АЦП в двоичном коде Фибоначчи может быть реализована одна из следующих кодовых комбинаций:

	34	21	13	8	5	3	2	1	1	
	1	0	0	1	0	1	0	1	0	(а)
	1	0	0	1	0	1	0	0	1	(б)
46 =	1	0	0	1	0	0	1	1	1	(в)
	1	0	0	0	1	1	1	1	1	(г)
	0	1	1	1	0	1	0	1	0	(д)
	0	1	1	1	0	1	0	0	1	(е)
	0	1	1	1	0	0	1	1	1	(ж)
	0	1	1	0	1	1	1	1	1	(з)

Кодовые комбинации являются Фибоначчиевым представлением числа 46, причем комбинации (а) и (б) являются минимальными формами этого числа. В каждой из остальных кодовых комбинаций (в), (г), (д), (е), (ж) и (з) наблюдается нарушение минимальной формы, так как имеется группа из двух и более расположенных рядом единиц.

Для возможности перевода целого десятичного числа в двоичный код по числам Фибоначчи составлен набор функций в среде Matlab.

Первая функция (fibonacci())

```
function f = fibonacci(n)
```

```
f = zeros(n, 1);
```

```
f(1) = 1;
```

```
f(2) = 1;
```

```
f(3) = 2;
```

```
for k = 3:n
```

```
    f(k) = f(k-1) + f(k-2);
```

```
end
```

возвращает вектор чисел Фибоначчи, а вторая реализует кодер (coder()), работающий с этим вектором:

```

function cod = coder(x, b)
opora = abs(x);
znak = (x<0);
n = length(b);
cod = zeros(n, 1);
for i=1:n
    cod(n-i+1) = double(opora >= b(n-i+1));
    opora = opora - cod(n-i+1) * b(n-i+1);
end
if (znak == true)
    cod = -1*cod;
end
end

```

С помощью функций `fibonacci()` и `coder()` реализовано преобразование десятичного числа 46 в двоичный код по числам Фибоначчи:

```

n = 9;
a = 46;
b = fibonacci(n);
y = coder(a, b);
disp(y');

```

Результат преобразования десятичного числа 46 в двоичный код по числам Фибоначчи с помощью функции `fibonacci()` и `coder()`:

```

0 1 0 1 0 1 0 0 1.

```

Далее с помощью функций `fibonacci()` и `coder()` реализовано преобразование десятичного числа -46 в двоичный код по числам Фибоначчи и результат преобразования:

```

0 -1 0 -1 0 -1 0 0 -1.

```

Отметим, что реализованный кодер по сути кодирует в двоичном коде, но с использованием символов 0, 1 и -1, таким способом учитывается знак кодируемого числа.

В результате исследования Фибоначчиевого аналого-цифрового преобразования выяснилось, что АЦП в кодах Фибоначчи обладает способностью обнаруживать и исправлять определенные виды ошибок, возникающих под воздействием помех, и в этом смысле можно говорить о повышенной помехоустойчивости АЦП в кодах Фибоначчи.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Воробьев Н.Н. Числа Фибоначчи: популярные лекции по математике. – М.: Наука, 1978. – Т. 39.
2. Стахов А.П. Коды золотой пропорции. – М.: Радио и связь, 1984. – 152 с.

**ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ**

*Председатель – Ходашинский И.А., проф. каф. КИБЭВС, д.т.н.  
зам. председателя – Сарин К.С., доцент каф. КИБЭВС, к.т.н.*

**ОТБОР ПРИЗНАКОВ ДЛЯ КЛАССИФИКАТОРА  
НА ОСНОВЕ СИСТЕМЫ АНГЕЛОВА–ЯГЕРА**

*А.Е. Анфилофьев, аспирант*

*Научный руководитель И.А. Ходашинский, проф. каф. КИБЭВС,  
д.т.н.*

*г. Томск, ТУСУР, каф. КИБЭВС, yowwi00@gmail.com*

Одной из проблем при создании классификатора является его интерпретируемость. Одним из подходов для увеличения интерпретируемости является уменьшение количества признаков за счет применения бинарных алгоритмов для усечения входного пространства классификатора. Однако при таком подходе часто бинарные алгоритмы работают только с инициализированной, а не оптимизированной нечетной системой, вследствие чего не всегда удается получить достоверные результаты по отбору признаков. Предлагается использовать классификатор на основе системы Ангелова–Ягера (AnYa) [1], которая за счет использования рекуррентных методов построения не требует дальнейшей настройки после своей инициализации.

Цель работы – описание алгоритма отбора признаков и классификатора на основе системы типа Ангелова–Ягера.

**Классификатор на основе системы типа Ангелова–Ягера**

В качестве основы алгоритма используется модифицированная система AnYa с использованием измененной функции вычисления локальной плотности [2]. Обобщенный алгоритм приведен ниже.

Введем следующие обозначения:  $r$  – граница по расстоянию на входном пространстве,  $L$  – граница по расстоянию на выходном пространстве,  $N$  – количество нечетких правил (облаков),  $p_k^i$  – количество точек в облаке  $\Omega^i$  на  $k$ -й итерации алгоритма.

Псевдокод алгоритма приведен ниже:

Вход:  $\mathbf{z}, r, L$ .

Выход:  $\mathbf{R}$ .

Получить первый экземпляр данных  $\mathbf{z}_1$ ,  $\mathbf{R} := \{\Omega^1(\boldsymbol{\mu}_1^1 = \mathbf{x}_1), u_1^1 = y_1\}$ ,  
 $N := 1, k := 1$ ;

цикл ПОКА (возможно получить экземпляр данных  $\mathbf{z}_k$ )

Рассчитать  $\gamma_k^i$  по формуле

$$g_k^i = K(\|\mathbf{x}_k - \boldsymbol{\mu}_{k-1}^i\|), \quad \gamma_k^i = \begin{cases} 1, & \text{если } g > 1 \\ 0, & \text{если } g < 0 \\ g_k^i & \text{иначе} \end{cases} \quad i = 1, \dots, N,$$

при  $i = 1, 2, \dots, N$ ;

$$near := \operatorname{argmax}_{i=1, 2, \dots, N} (\gamma_k^i);$$

Если  $\|\mathbf{x}_k - \boldsymbol{\mu}_{k-1}^{near}\| > r$ ,

то  $N := N + 1$ ,  $\mathbf{R} := \mathbf{R} \cup \{\Omega^N(\boldsymbol{\mu}_k^N = \mathbf{x}_k), u_k^N = y_k\}$ ,  $p_k^N := 1$ , перейти к началу цикла;

Если  $|\mu_k - y_k| > L$  в точке  $\mathbf{z}^k$ ,

то  $N := N + 1$ ,  $\mathbf{R} := \mathbf{R} \cup \{\Omega^N(\boldsymbol{\mu}_k^N = \mathbf{x}_k), u_k^N = y_k\}$ ,  $p_k^N := 1$ , перейти к началу цикла;

$$p_k^{near} := p_{k-1}^{near} + 1.$$

Вычислить фокальную точку облака  $\boldsymbol{\mu}_k^{near} := \frac{p_{k-1}^{near}}{p_k^{near}} \boldsymbol{\mu}_{k-1}^{near} + \frac{\mathbf{x}_k}{p_k^{near}}$ .

Рассчитать значение  $u_k^{near}$  с помощью рекуррентного метода наименьших квадратов, перейти к началу цикла.

Конец цикла.

При построении классификатора будет применяться построение функциональной зависимости на основе модифицированного алгоритма Ангелова–Ягера с последующим преобразованием полученного значения вывода алгоритма в класс.

Так как классифицируемые данные обладают метками, необходимо сопоставить меткам класса целочисленные значения  $\{s_1, s_2, \dots, s_C\}$ , где  $C$  – количество классов. Полученную приведенную таблицу наблюдений можно использовать для построения функционально зависимости на основе алгоритма Ангелова–Ягера. Выводом алгоритма является число  $s'_i$ . Примем выводом алгоритма класс, которому соответствует ближайшее целочисленное значение к  $s'_i$  из  $\{s_1, s_2, \dots, s_C\}$ .

**Бинарный сорняковый алгоритм.** Сорняковый алгоритм является популяционным алгоритмом, отражающим ограниченный по времени жизненный цикл сорняков, при их распространении и выживании на ограниченной территории [3].

Входные параметры алгоритма:  $N$  – максимальное число итераций;  $V$  – максимальное число векторов;  $n_{\min}$ ,  $n_{\max}$  – минимальное и максимальное число дочерних векторов;  $\sigma$  – параметр нормального распределения;  $Popul$  – текущая популяция.

Вначале образовывается начальная популяция векторов  $\theta = \{\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_P\}$ .

Определяется приспособленность каждого вектора и определяет количество дочерних векторов, которое может породить данный вектор:

$$n^s := \frac{n_{\max} - n_{\min}}{E^{best} - E^{worst}} E(\theta^s) + \frac{E^{best} n_{\max} - E^{worst} n_{\min}}{E^{best} - E^{worst}}.$$

Порождаются дочерние вектора для каждого вектора, учитывая время жизни системы:

$$\sigma_N := \sigma \cdot \left( \frac{N - iter}{N} \right); a := rand(0,1); b := rand(0,1);$$

$$u \rightarrow N(0, \sigma_N) := \sigma_N \cos(b) \sqrt{-2 \ln(a)};$$

$$\text{если } u < \sigma_N \text{ то } \theta_i^{*s,j} := \text{NOT}(\theta_i^s)$$

$$\text{иначе } \theta_i^{*s,j} = \theta_i^s.$$

После порождения всех дочерних векторов на итерации они объединяются с родительскими в одну популяцию. Из полученной популяции всегда остается только  $V$  наиболее приспособленных векторов. Итерации алгоритма повторяются до тех пор, пока не выполнено условие остановки алгоритма.

**Эксперимент** проводился для набора данных signature, набор содержит информацию о рукописной подписи, закодированную 144 признаками. Данные представлены 10 парами выборок – обучающая (1414 экземпляров) и тестовая (157 экземпляров). В наборе данных представлено два класса: верная подпись и фальсифицированная. Для каждой из выборок произведем по пять запусков алгоритма и получим таблицу из 50 наборов отобранных признаков. Для каждого признака подсчитаем его частоту появления, проранжируем признаки (табл. 1).

Выберем признаки с наименьшими рангами и произведем построения по всем выборкам (табл. 2).

Таблица 1

**Ранжирование признаков**

Ранг	Частота	Номера признаков
1	50	33
2	15	29
3	14	21
4	9	30
6,5	8	22; 55; 130; 133
12,5	6	18; 28; 45; 49; 66; 123; 128; 134
21,5	5	39; 41; 53; 60; 68; 98; 112; 150; 135; 143
34	4	17; 27; 32; 36; 58; 59; 67; 83; 84; 87; 90; 129; 131; 140; 141
57	3	15; 26; 37; 42; 54; 56; 62; 65; 76; 77; 78; 80; 88; 89; 96; 101; 103; 107; 108; 109; 113-118; 125; 136;
84	2	15; 26; 37; 42; 54; 56; 62; 65; 76; 77; 78; 80; 88; 89; 96; 101; 103; 107-109; 113-118; 125; 136; 138; 139; 142; 144
112	1	4; 5; 6; 9; 11; 19; 25; 31; 35; 43; 46; 47; 48; 51; 52; 61; 64; 70-75; 79; 86; 95; 99; 102; 104; 105; 11; 122; 127
136,5	0	Остальные

Таблица 2

**Сравнение наборов признаков**

Признаки	Обучение. Средняя точность, %	Тест. Средняя точность, %
Все	98,86	98,91
33	98,33	98,21
<b>29; 33</b>	<b>99,34</b>	<b>99,42</b>
21; 29; 33	99,17	99,17
21; 22; 29; 30; 33; 55; 130; 133	97,32	97,44

Как видно из табл. 2, применение бинарного сорнякового алгоритма позволяет заметно сократить количество необходимых признаков, не теряя при этом в точности классификации для систем Ангелова-Ягера.

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Angelov P., Yager R. Simplified fuzzy rule-based systems using non-parametric antecedents and relative data density // IEEE Workshop Evol. Adapt. Intell. Syst. – 2011.
2. Анфилофьев А.Е., Горбунов И.В., Сарин К.С., Ходашинский И.А. Оригинальный алгоритм построения нечеткого аппроксиматора потоковых данных // Пятнадцатая национальная конференция по искусственному интеллекту с международным участием КИИ-2016 (3–7 октября 2016 г., г. Смоленск, Россия): труды конференции. – Т. 3. – Смоленск: Универсум, 2016. – С. 61–66.
3. Rad H.S., Lucas C.A Recommender System based in Invasive Weed Optimization Algorithm // IEEE Congress on Evolutionary Computation (CEC 2007). – 2007. – P. 4297–4304.

## МЕТОД БЭГГИНГА ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ НЕЧЕТКИХ КЛАССИФИКАТОРОВ

*С.А. Ворожцов, С.Н. Аримпилов, студенты*

*Научный руководитель К.С. Сарин, доцент каф. КИБЭВС, к.т.н.  
г. Томск, ТУСУР, каф. БИС и КИБЭВС, sks@security.tomsk.ru*

Одним из способов, позволяющих повысить точность классификации без изменения самого алгоритма классификации, является построение ансамблей классификаторов. В ансамблях повышение точности достигается за счет использования определенной архитектуры в построение композиции классификаторов [1]. Одним из таких алгоритмов построения ансамблей является Бэггинг [2]. Целью этой работы является построение ансамблей нечетких классификаторов с помощью данного алгоритма и проведение экспериментов классификации ансамблей на реальных наборах данных.

**Постановка задачи.** На рис. 1 представлена архитектура ансамбля классификаторов, построенных алгоритмом Бэггинга. Ансамбль состоит из множества нечетких классификаторов:  $M_1, \dots, M_t$ .

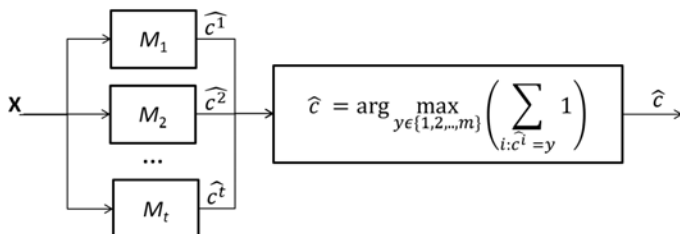


Рис. 1. Архитектура ансамбля нечетких классификаторов

Определение класса экземпляра по входному вектору  $\mathbf{X}$  происходит следующим образом. Каждый классификатор композиции определяет класс входного экземпляра. Итоговый класс определяется путем голосования, в котором у каждого классификатора равносильный голос и результат определяется методом простого большинства. Формула приведена на рис. 1.

**Алгоритм построения классификаторов ансамбля.** Классификаторы ансамбля строятся параллельно, причем каждый классификатор строится на своей обучающей подвыборке, которая случайным образом сгенерирована из генеральной обучающей выборки.

На вход алгоритму подается:  $I$  – алгоритм обучения классификатора;  $T = \{(\mathbf{X}_p, c_p); p = \overline{1, z}\}$  – обучающие данные;  $Iter$  – число итераций (число классификаторов),  $size = ((Iter - 1)/Iter) \cdot p$  – объем подвыборки.

На выходе работы алгоритма: множество классификаторов  $\{M_i : i = \overline{1, iter}\}$ . В качестве алгоритма обучения классификатора  $I$  в настоящей работе используется метаэвристика «кукушкин поиск» [3].

Алгоритм построения ансамбля нечетких классификаторов представлен следующими шагами:

*Шаг 1.* Инициализировать счетчик итераций  $t = 1$ .

*Шаг 2.* Сформировать множество  $S$  случайным образом,  $S \in T$ ,  $|S| = size$ .

*Шаг 3.* Построить классификатор  $M_i$  алгоритмом  $I$  на  $S$ .

*Шаг 4.* Если  $t < Iter$ , то  $t = t + 1$ , и перейти на шаг 2.

*Шаг 5.* Завершить работу с множеством классификаторов  $\{M_i : i = \overline{1, iter}\}$ .

**Эксперимент.** Построение ансамблей было проведено на реальных данных из репозитория KEEL ([www.keel.es](http://www.keel.es)), которые использовались в работе [4]. Сначала эмпирически определен параметр  $Iter$ . В табл. 1 даны результаты точности классификации ансамблей со значениями параметра  $Iter$ , равными 3, 5 и 7. Точность классификации оценивалась методом 10-кратной кроссвалидации. В колонках  $tra$  указана точность классификации на обучающих данных, а в  $tst$  на тестовых. Значение  $Iter = 5$  оказалось лучшим.

В табл. 2 показаны результаты точностей классификации ансамблей, рассмотренных в [4, 5], и ансамблей данной работы.

**Заключение.** В работе проведено построение ансамблей нечетких классификаторов с помощью алгоритма Бэггинга. Проведены эксперименты на реальных наборах данных. Сравнение точности классификации построенных ансамблей с ансамблями работ [4, 5] не выявило алгоритма, который бы показал лучшие значения на всех наборах. На двух из семи наборов данных точность алгоритма Бэггинга оказалось лучше, на остальных наборах альтернативные ансамбли показали лучшие результаты.

Таблица 1

Точность классификации с разными значениями  $Iter$

Наборы данных	$Iter = 3$		$Iter = 5$		$Iter = 7$	
	$tra$	$tst$	$tra$	$tst$	$tra$	$tst$
Iris	0,983	0,933	0,987	<b>0,953</b>	0,988	0,947
Tae	0,585	0,518	0,599	<b>0,551</b>	0,616	0,544
Wine	0,79	0,775	0,797	<b>0,798</b>	0,792	0,741
Glass	0,614	0,55	0,639	<b>0,611</b>	0,642	0,599
Heart	0,746	<b>0,733</b>	0,73	0,726	0,741	0,711
Cleveland	0,513	<b>0,475</b>	0,536	0,472	0,52	0,448
Newthyroid	0,978	0,949	0,985	<b>0,968</b>	0,98	0,94



Таблица 2

## Сравнение точности классификации ансамблей

Наборы данных	Бэггинг		AdaBoost [5]		Ансамбль [4]	
	<i>tra</i>	<i>tst</i>	<i>tra</i>	<i>tst</i>	<i>tra</i>	<i>tst</i>
Iris	0,987	0,953	1,000	<b>0,96</b>	0,981	0,94
Tae	0,599	<b>0,551</b>	0,633	0,504	0,606	0,525
Wine	0,797	0,798	0,773	0,753	0,993	<b>0,944</b>
Glass	0,639	0,611	0,625	<b>0,614</b>	0,698	0,565
Heart	0,73	0,726	0,726	0,726	0,867	<b>0,830</b>
Cleveland	0,536	0,472	0,543	0,507	0,637	<b>0,547</b>
Newthyroid	0,985	<b>0,968</b>	0,993	0,949	0,969	0,949

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 16-07-00034).

## ЛИТЕРАТУРА

1. Rokach L. Ensemble-based classifiers // Artificial Intelligence Review. – 2010. – Vol. 33, Is. 1-2. – P. 1–39.
2. Breiman L. Bagging predictors // Machine Learning. – 1996. – Vol. 24, Is. 2. – P. 123–140.
3. Ходашинский И.А., Минина Д.Ю., Сарин К.С. Идентификация параметров нечетких аппроксиматоров и классификаторов на основе алгоритма «кукушкин поиск» // Автотометрия. – 2015. – Т. 51, №3. – С. 27–34.
4. Сарин К.С., Ворожцов С.А., Аримпилов С.Н. Построение ансамблей нечетких классификаторов на основе метаэвристики «кукушкин поиск» и горной кластеризации // Электронные средства и системы управления: матер. докладов XIII Междунар. науч.-практ. конф. (29 ноября – 1 декабря 2017 г.): в 2 ч. – Ч. 2. – Томск: В-Спектр, 2017. – С. 26–29.
5. Freund Y., Schapire R.E. Experiments with a new boosting algorithm // Machine learning: proceedings of the thirteenth international conference. – 1996. – P. 325–332.

## МЕТОДЫ ПРЕДОБРАБОТКИ НЕСБАЛАНСИРОВАННЫХ ДАННЫХ

*М.Б. Бардамова, аспирантка*

*Научный руководитель И.А. Ходашинский, проф., д.т.н.  
г. Томск, ТУСУР, каф. КИБЭВС, bmb@keva.tusur.ru*

Несбалансированные данные – такие данные, один или несколько классов которых представлены существенно меньшим количеством экземпляров (записей), чем остальные. Ярким примером является набор данных из сферы информационной безопасности KDD CUP 1999, в котором содержатся данные об интернет-трафике: класс безопасного

соединения «Normal» и классы атак «Neptune» и «Smurf» имеют больше миллиона записей каждый, в то время как на классы атак «Perl», «Spy», «Phf» приходится меньше десятка экземпляров [1].

Во многих задачах классификации именно редкие случаи представляют основную важность: определение специфических случаев заболеваний, мошеннических банковских транзакций, сбоев в технологических процессах, и т.д. Наличие дисбаланса в данных усложняет задачу построения классификатора и нередко приводит к тому, что классификатор неправильно классифицирует классы меньшинства.

Распространенным подходом к решению проблемы несбалансированных данных является предобработка данных, включающая три метода: усечение (*under-sampling methods*), дополнение (*over-sampling methods*) и гибридный метод, подразумевающий использование предыдущих двух одновременно. Задача предобработки – сбалансировать распределение классов для облегчения классификации классов меньшинства.

Целью данной статьи является обзор наиболее распространенных методов предобработки информации.

**Методы усечения данных.** При усечении из набора исключаются экземпляры классов большинства. Простейший алгоритм усечения заключается в использовании случайного удаления экземпляров; недостаток этого способа – высокая вероятность потерять информативные данные. Более сложные алгоритмы заключаются в удалении наименее важных экземпляров: повторяющихся, зашумленных и пограничных записей. Далее описаны концепции нескольких алгоритмов, которые чаще всего встречаются в зарубежной литературе.

**CNN (Condensed nearest neighbour rule,** «сокращенное правило ближайшего соседа») предполагает составление выборки  $C$ , состоящей из экземпляров класса меньшинства и случайно выбранного экземпляра большинства. Каждый экземпляр исходной выборки  $D$  находит в  $C$  ближайшего соседа; если классы соседей не совпадают, то экземпляр из  $D$  попадает в  $C$ . Таким образом, исключаются избыточные данные [2].

**Tomek links.** Существуют два экземпляра  $a$  и  $b$ , принадлежащих разным классам. Пару экземпляров  $a$  и  $b$  называют Tomek link, если не существует третьего экземпляра  $c$  такого, что  $d(a, c) < d(a, b)$  или  $d(b, c) < d(a, b)$ , где  $d$  – расстояние между экземплярами. Если пара записей является Tomek link, то их можно считать шумовыми или пограничными, и экземпляр, принадлежащий классу большинства, удаляется [3].

Часто Tomek links и CNN используются вместе, так как первый алгоритм позволяет избавиться от зашумленных и пограничных записей, а второй ликвидирует экземпляры, далекие от границы принятия решений. Кроме того, оба вышеописанных алгоритма имеют множество модификаций.

Также в качестве способа усечения данных могут использоваться алгоритмы кластеризации. В [4] экземпляры большинства объединяются в кластеры алгоритмом k-means; в результирующую выборку данных включаются экземпляры классов меньшинства и несколько представителей классов большинства из каждого кластера.

**Методы дополнения.** При дополнении данных генерируются дополнительные экземпляры класса меньшинства. Простое дополнение заключается в копировании записей таким образом, чтобы количество экземпляров, принадлежащих разным классам, сравнялось. Применение такого алгоритма из-за многократного повторения экземпляров меньшинства с высокой долей вероятности может привести к переобучению классификатора [2].

Наиболее распространённым алгоритмом является SMOTE (Synthetic minority over-sampling technique, техника добавления синтетических экземпляров меньшинства), идея которого заключается в создании новых экземпляров меньшинства на основе имеющихся путем интерполяции [2]. Из записей наименьшего класса случайным образом выбирается экземпляр  $a$ , из  $k$  ближайших к  $a$  соседей с тем же классом случайно выбирается экземпляр  $b$ . Далее из этих двух экземпляров генерируется новый синтетический экземпляр.

Алгоритм SMOTE также имеет большое количество модификаций. Например, в [5] предлагают сначала сформировать из классов меньшинства кластеры, а затем использовать SMOTE в пределах каждого кластера таким образом, чтобы сбалансировать количество экземпляров в кластерах.

**Смешанный метод.** Использование в качестве предобработки данных только усечения или только дополнения зачастую ведет к ситуации, когда кластеры классов меньшинства и большинства сильно перемешиваются, что заставляет классификатор строить излишне сложную модель. Поэтому целесообразным является применение обоих методов одновременно.

Смешанный метод предполагает комбинацию двух алгоритмов: один – для создания дополнительных экземпляров класса меньшинства, второй – для удаления тех экземпляров, которые могут привести к переобучению модели [6]. Существуют различные комбинации алгоритмов, например: SMOTE + Tomek links, SMOTE + CNN [3].

**Заключение.** Исследования показывают, что предобработка позволяет повышать точность классификации экземпляров меньшинства на искусственных данных, однако на реальных наборах, имеющих более высокую сложность, результативность алгоритмов невысока [2, 6]. Эффективность методов предобработки зависит как от свойств наборов данных – их размера, степени зашумленности и перекрытия классов, так и от совместимости с выбранным алгоритмом классификации данных. Поэтому необходимо сосредоточиться либо на разработке алгоритмов предобработки, основанных на глубоком анализе данных, как, например, в [6], где предлагается выделять и отдельно обрабатывать безопасные, пограничные, редкие и шумовые экземпляры классов; либо дополнительно использовать методы модификации выбранного алгоритма классификации, направленные на обработку несбалансированных данных.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. KDD Cup 1999 Data: task description [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://kdd.ics.uci.edu/databases/kddcup99/task.html> (дата обращения: 01.03.2018).
2. He H., Ma Y. (Eds.) Imbalanced Learning. Foundations, Algorithms, and Applications / Wiley-IEEE Press. – 2013. – 216 p.
3. Fernández A., García S., del Jesús M. J., Herrera F. A study of the behaviour of linguistic fuzzy rule based classification systems in the framework of imbalanced data-sets // Fuzzy Sets and Systems. – 2008. – Vol. 159, № 18. – P. 2378–2398.
4. Sobhani P., Viktor H., Matwin S. Learning from Imbalanced Data Using Ensemble Methods and Cluster-based Undersampling // NFMCP 2014: New Frontiers in Mining Complex Patterns. – 2014. – P. 69–83.
5. Jo T., Japkowicz N. Class imbalances versus small disjuncts // ACM SIGKDD Explorations Newsletter. – 2004. – Vol. 6, № 1. – P. 40–49.
6. Napierala K., Stefanowski J. Types of minority class examples and their influence on learning classifiers from imbalanced data // J. Intell Inf Syst. – 2016. – Vol. 46. – P. 563–597.

#### ПРИМЕНЕНИЕ ВЕЙВЛЕТОВ В ЗАДАЧЕ РАСПОЗНАВАНИЯ ЭМОЦИЙ ЧЕЛОВЕКА ПО ЕГО РЕЧИ

*А.И. Бредихин, студент*

*Научный руководитель В.И. Алексеев, проф. каф. ИТСИТ, д.т.н.  
г. Ханты-Мансийск, ЮГУ, каф. СОИМУ, v\_alekseev@ugrasu.ru*

В настоящее время все большую популярность приобретают вейвлетные методы анализа сигналов. При выполнении данных методов анализируются определенные частоты сигнала (например, значение энергии сигнала на частоте). Одним из таких методов является

непрерывное вейвлет-преобразование (НВП), которое позволяет анализировать сигнал на произвольно выбираемых частотах [1, с. 168]. Результатом вейвлет-преобразования является матрица вейвлет-коэффициентов размером  $m \times n$ , где  $m$  – количество используемых масштабов (анализируемых частот);  $n$  – длина сигнала.

В данной статье описано исследование, которое отвечает на следующий вопрос: возможно ли распознавание эмоций человека не по значениям вейвлет-коэффициентов, а по значениям коэффициентов двумерного вейвлет-разложения матриц вейвлет-коэффициентов?

**Целью исследования** является получение алгоритма распознавания эмоций человека с помощью вейвлетов с более высоким качеством распознавания.

**Двумерное вейвлет-разложение** применяется для получения более детальной информации об анализируемом изображении. Оно может производиться до произвольного уровня, на каждом из которых вычисляются *коэффициенты аппроксимации* и *коэффициенты детализации* изображения. Вейвлет-разложение двумерного сигнала  $s$  проводится по схеме из рис. 1.

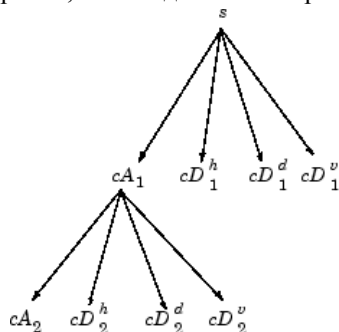


Рис. 1. Двумерное вейвлет-разложение сигнала  $s$  [2]

Как видно из рис. 1, на каждом из уровней вычисляются коэффициенты аппроксимации и детализации, причем коэффициенты следующего уровня вычисляются по коэффициентам аппроксимации текущего уровня. Вычисление коэффициентов выполняется с помощью высокочастотных (детализация) и низкочастотных (аппроксимация) фильтров. В качестве фильтров используются вейвлеты с компактным носителем.

При вейвлет-разложении изображения, помимо коэффициентов аппроксимации, вычисляются 3 вида коэффициентов детализации – горизонтальные, вертикальные и диагональные коэффициенты детализации.

В ходе исследования были выполнены следующие задачи:

1. Выбор списка анализируемых эмоций (гнев, страх, радость, норма).

2. Запись звуковых файлов с голосами дикторов на каждую из эмоций (по 460 на каждую из 4 эмоций, соотношение (муж./жен.) –

250/210, расширение – WAV, ЧД = 8000 Гц, длительность каждой звукозаписи – 2 с, 16000 отсчетов на сигнал (8000×2).

3. Вычисление матриц со значениями квадратов модулей коэффициентов НВП для каждой звукозаписи (150 масштабов, полоса частот 53,3–8000 Гц, используемый вейвлет – **Морле вещественный**). Матрицы коэффициентов НВП вычисляются с использованием вещественного вейвлета Морле, поскольку матрицы НВП надежнее различаются между собой, если они вычислены именно с помощью вещественного вейвлета Морле [3]. Примеры данных матриц приведены в статье [3].

4. Вычисление средних коэффициентов корреляции каждого из 460 наборов матриц квадратов модулей коэффициентов НВП. Для данных наборов матриц были вычислены средние коэффициенты корреляции для каждой эмоции. Таким образом были получены значения коэффициентов корреляции [3], представленные в табл. 1.

Таблица 1

**Матрица средних коэффициентов корреляции для матриц вейвлет-коэффициентов (вейвлет Морле вещественный)**

Эмоция	Гнев	Страх	Радость	Норма
Гнев	1	0,12	0,14	0,13
Страх		1	0,09	0,11
Радость			1	0,14
Норма				1

5. Вейвлет-разложение полученных матриц квадратов модулей коэффициентов НВП (3-й уровень, вейвлет **Койфлет (coif5)**). В результате выполнения данной задачи получены 4 матрицы: с коэффициентами аппроксимации, с горизонтальными, вертикальными и диагональными коэффициентами детализации вейвлет-разложения матриц НВП.

6. Вейвлет-разложение полученных на шаге 5 матриц коэффициентов вейвлет-разложения (3-й уровень, вейвлет **Койфлет (coif5)**). Таким образом, получены 4 одномерных массива: с коэффициентами аппроксимации, с горизонтальными, вертикальными и диагональными коэффициентами детализации повторного вейвлет-разложения. Путем конкатенации полученных массивов получены **2 вида массивов коэффициентов вейвлет-разложения** матриц НВП – [сA, сDh, сDv, сDd] и [сDh, сDv, сDd].

7. Вычисление средних коэффициентов корреляции каждого из 460 наборов массивов коэффициентов вейвлет-разложения. Для данных наборов массивов каждого вида были вычислены средние коэф-

коэффициенты корреляции для каждой эмоции. Затем все полученные на этом шаге и шаге 4 коэффициенты корреляции были проверены на значимость с помощью критерия значимости коэффициента корреляции. Полученные на данном шаге значения коэффициентов корреляции приведены в табл. 2, 3.

Таблица 2

**Матрица средних значений коэффициентов корреляции для массивов коэффициентов с аппроксимацией**

Эмоция	Гнев	Страх	Радость	Норма
Гнев	1	0,08	0,11	0,10
Страх		1	0,08	0,09
Радость			1	0,12
Норма				1

Таблица 3

**Матрица средних значений коэффициентов корреляции для массивов коэффициентов без аппроксимации**

Эмоция	Гнев	Страх	Радость	Норма
Гнев	1	0,01	0,03	0,02
Страх		1	0,01	~0,00
Радость			1	0,02
Норма				1

Из табл. 1–3 можно увидеть следующее: средние значения коэффициентов корреляции массивов коэффициентов вейвлет-разложения обоих видов меньше, чем средние значения коэффициентов корреляции матриц НВП. А средние значения коэффициентов корреляции массивов коэффициентов вейвлет-разложения без аппроксимации значительно меньше, чем средние значения коэффициентов корреляции массивов коэффициентов вейвлет-разложения с аппроксимацией. **Чем меньше коэффициент корреляции, тем меньшую сложность представляет отличить одну эмоцию от другой и наоборот.**

Для проверки значимости вычисленных коэффициентов корреляции были вычислены наблюдаемые значения критерия Стьюдента значимости коэффициентов корреляции для всех вычисленных коэффициентов корреляции. При этом был выбран **уровень значимости, равный 0,01**. Для массивов коэффициентов вейвлет-разложения с аппроксимацией все коэффициенты значимы. А для массивов коэффициентов вейвлет-разложения без аппроксимации все коэффициенты, за исключением значения коэффициента корреляции «Страх–Норма», значимы.

Отсюда можно сделать **вывод исследования**: более надежным способом распознавания эмоций по человеческой речи, по сравнению

с распознаванием по матрицам коэффициентов НВП, может быть распознавание по массивам коэффициентов детализации матриц коэффициентов НВП, вычисленным с помощью вещественного вейвлета Морле. Следовательно, распознавание эмоций человека по значениям коэффициентов двумерного вейвлет-разложения матриц вейвлет-коэффициентов возможно.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Дьяконов В.П. Вейвлеты. От теории к практике. – 2-е изд., перераб. и доп. Сер.: Полное руководство пользователя. – М.: СОЛОН-Пресс, 2004. – 400 с.

2. Multilevel 2-D wavelet decomposition – MATLAB wavedec2 // MathWorks [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.mathworks.com/help/wavelet/ref/wavedec2.html> (дата обращения: 24.02.2018).

3. Бредихин А.И., Алексеев В.И. Распознавание эмоций в человеческой речи с использованием вейвлетов // Научное сообщество студентов XXI столетия. Технические науки: сб. ст. по мат. LXII Междунар. студ. науч.-практ. конф. № 2 (61). – URL: [https://sibac.info/archive/technic/2\(61\).pdf](https://sibac.info/archive/technic/2(61).pdf) (дата обращения: 27.02. 2018).

### МЕТАЭВРИСТИЧЕСКИЙ АЛГОРИТМ «KRILL HERD» ДЛЯ ЗАДАЧИ ОПТИМИЗАЦИИ ПАРАМЕТРОВ НЕЧЕТКОГО КЛАССИФИКАТОРА

*И.В. Филимоненко, студент*

*Научный руководитель И.А. Ходашинский, проф. каф. КИБЭВС, д.т.н.  
г. Томск, ТУСУР, каф. БИС, ifilimon96@mail.ru  
Проект ГПО КИБЭВС-1211 «Нечеткие системы»*

При построении нечеткого классификатора выделяются два основных этапа. Первым этапом является формирование структуры, то есть нечетких термов и базы нечетких правил. А второй этап – настройка параметров термов с помощью алгоритмов оптимизации.

В качестве алгоритмов оптимизации чаще всего используют метаэвристические алгоритмы. Они имеют меньшую вероятность попадания найденных значений в локальные экстремумы [1].

**Цель работы** – проверка работоспособности алгоритма «Krill Herd» для задачи оптимизации параметров нечеткого классификатора непосредственным сравнением результатов классификации с зарубежным аналогом (алгоритмом «D-MOFARC» [2]).

**Постановка задачи.** Классификатор – это функция  $f: X \rightarrow C$ , где  $X = \{x_1, \dots, x_n\}$  – непустое конечное множество объектов;  $A = \{a_1, \dots, a_n\}$  – непустое конечное множество признаков, таких, что  $a: X \rightarrow V_a$  для



любого  $a \in A$ ;  $V_a$  – множество допустимых значений признака  $a$ ;  $C = \{c_1, c_2, \dots, c_m\}$  – непустое конечное множество меток классов. Значение  $c_i = f(\mathbf{a}; \boldsymbol{\theta})$  является меткой для вектора признаков  $\mathbf{a}$ ;  $\boldsymbol{\theta}$  – вектор параметров классификатора.

Основой нечеткого классификатора является продукционное правило следующего вида:

$R_{ij}$ : ЕСЛИ  $a_1$  есть  $A_{1i}$  И  $a_2$  есть  $A_{2i}$  И...И  $a_n$  есть  $A_{ni}$ , ТО  $class$  есть  $c_j$ , где  $A_{li}$  – нечеткий терм, характеризующий  $l$ -й признак в  $i$ -м правиле  $i \in [1, R]$ ;  $R$  – число правил.

$$class = c_{j^*}, j^* = \arg \max_{1 \leq j \leq m} \beta_j,$$

где  $\beta_j(a) = \sum R_{ij} \prod_{k=1}^n A_{ki}(a_k)$ ,  $j=1, 2, \dots, m$  – степень соответствия входного вектора  $\mathbf{a}$  каждому классу.

Выходом классификатора будем считать метку класса, определяемую по максимальному суммарному значению.

На множестве обучающих данных  $Tr = \{\mathbf{a}_p, c_p\}$  введем единичную функцию

$$\delta(p, \boldsymbol{\theta}) = \begin{cases} 1, & \text{если } c_p = f(\mathbf{a}_p, \boldsymbol{\theta}), \\ 0, & \text{иначе} \end{cases}, p=1, 2, \dots, |Tr|,$$

тогда целевая функция или мера точности классификации может быть выражена следующим образом:

$$E(\boldsymbol{\theta}) = \frac{\sum_{p=1}^{|Tr|} \delta(p, \boldsymbol{\theta})}{|Tr|}.$$

Алгоритм «Krill Herd» ищет максимум указанной функции путем изменения параметров термов, входящих в вектор  $\boldsymbol{\theta}$  [3].

**Описание алгоритма.** Алгоритм основывается на поведении группы антарктических рачков (крилей). В процессе решения задачи оптимизации параметров координаты каждого криля – это решение, определяемое вектором  $\boldsymbol{\theta}$ . Позиция  $i$ -го криля на  $(t+1)$ -й итерации выполнения алгоритма определяется следующим образом:

$$\boldsymbol{\theta}_i(t+1) = \boldsymbol{\theta}_i(t) + \Delta \boldsymbol{\theta}_i * \Delta t, \Delta \boldsymbol{\theta}_i = \mathbf{N}_i(t) + \mathbf{F}_i(t) + \mathbf{RD}_i(t),$$

где  $\mathbf{N}_i(t)$  – движение, вызванное другими крилями;  $\mathbf{F}_i(t)$  – движение, вызванное необходимостью добычи пищи;  $\mathbf{RD}_i(t)$  – движение, вызванное физическим распространением крилей [3].

$$\mathbf{N}_i(t+1) = N^{\max} \boldsymbol{\alpha}_i + \omega_n \mathbf{N}_i(t),$$

где  $\mathbf{N}_i(t+1)$  – движение, вызванное другими крильями;  $N^{\max}$  – максимальная вызванная другими крильями скорость;  $\boldsymbol{\alpha}_i$  – общий эффект;  $\omega_n$  – вес инерции движения;  $\mathbf{N}_i(t)$  – последнее движение.

$$\mathbf{F}_i(t+1) = V_f \boldsymbol{\beta}_i + \omega_f \mathbf{F}_i(t),$$

где  $V_f$  – максимальная скорость, вызванная необходимостью добычи пищи, равная  $0,02 \text{ мс}^{-1}$ ;  $\boldsymbol{\beta}_i$  – сумма привлекательной еды и эффекта от лучшего криля;  $\omega_f$  – вес инерции движения в диапазоне от 0 до 1.

$$\mathbf{RD}_i = RD^{\max} \left(1 - \frac{I}{I_{\max}}\right) \delta,$$

где  $\mathbf{RD}_i$  – движение, вызванное физическим распространением крилей;  $RD^{\max}$  – максимальная скорость распространения, в промежутке от  $0,002$  до  $0,010 \text{ мс}^{-1}$ ;  $I$  – номер итерации;  $\delta$  – случайное число, принимающее значения от  $-1$  до  $1$  [4].

**Результаты работы.** При проведении эксперимента использовался метод кроссвалидации, обучающие и тестовые файлы сформированы в репозитории KEEL ([www.keel.es](http://www.keel.es)) в соотношении 90 к 10 соответственно. Обозначения в таблице:  $R$  – количество правил,  $Tra$  – процент правильной классификации на обучающей выборке и  $Tst$  – процент правильной классификации на тестовой выборке.

#### Результаты классификации алгоритмом «Krill Herd» и его сравнение с алгоритмом «D-MOFARC»

№	DATASET	KRILL HERD			D-MOFARC		
		$R$	$Tra$	$Tst$	$R$	$Tra$	$Tst$
1	appendicitis	2,0	86,307	85,473	–	–	–
2	led7digit	10,0	30,947	28,640	–	–	–
3	iris	<b>3,0</b>	98,504	<b>97,333</b>	5,6	98,100	96,000
4	balance	<b>3,0</b>	92,345	<b>91,354</b>	20,1	89,400	85,600
5	newthyroid	<b>3,0</b>	97,489	<b>96,091</b>	9,5	99,800	95,500
6	phoneme	<b>2,0</b>	79,710	78,915	9,3	84,800	<b>83,500</b>
7	ecoli	<b>8,0</b>	74,760	68,077	26,2	94,000	<b>82,700</b>
8	glass	<b>6,0</b>	68,923	68,317	27,4	95,200	<b>70,600</b>
9	wine	<b>3,0</b>	94,220	90,490	8,6	100,000	<b>95,800</b>

**Анализ полученных результатов.** Исходя из данных, представленных в таблице, можно сделать вывод о том, что алгоритм показал себя лучшим на 3 из 7 выборок при существенном сокращённом числе

правил, что указывает на возможность его применения в практических задачах классификации.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Ходашинский И.А., Сарин К.С., Минина Д.Ю. Идентификация параметров нечетких аппроксиматоров и классификаторов на основе алгоритма «кукушкин поиск» // Автометрия. – 2015. – Т. 51, № 3. – С. 28–35.

2. Alcalá R., Alcalá-Fdez J., Gacto M.J., Herrera F. A multi-objective evolutionary method for learning granularities based on fuzzy discretization to improve the accuracy-complexity trade-off of fuzzy rule-based classification systems: D-MOFARC algorithm // Applied Soft Computing. – 2014. – Vol. 24. – P. 470–481.

3. Бардамова М.Б., Анфилофьев А.Е., Филимоненко И.В., Ковалев В.С. Сравнительный анализ эффективности метаэвристических алгоритмов при построении нечетких классификаторов // Интеллектуальные системы и технологии (ISYT–2017): сборник науч. тр. IV Междунар. летней школы-семинара по иск. интел., 30 июня – 3 июля 2017 г. – СПб.: Политехника-сервис, 2017. – Т. 1. – С. 22–31.

4. Gandomi A.H., Alavi A.H. Krill herd: A new bio-inspired optimization algorithm // Commun Nonlinear Sci. Numer. Simulat. – 2012. – Vol. 17, Is. 12. – P. 4831–4845.

#### БИБЛИОТЕКА ДЛЯ РАБОТЫ С ПОЛИНОМАМИ БЕЛЛА В МАТЕМАТИЧЕСКОМ ПАКЕТЕ WOLFRAM MATHEMATICA

*В.С. Мельман, инженер; Ю.В. Шабля, аспирант;*

*Д.В. Кручинин, доцент, к.ф.-м.н.; А.С. Кокурина, инженер*

*г. Томск, ТУСУР, каф. КИБЭВС и БИС vadiatylman@yandex.ru*

Впервые полиномы были описаны Э.Т. Беллом [1]. Частичные полиномы Белла можно определить следующим точным выражением [2]:

$$B_{n,k}(x_1, \dots, x_{n-k+1}) = \sum \frac{n!}{j_1! j_2! \dots j_{n-k+1}!} \left(\frac{x_1}{1!}\right)^{j_1} \left(\frac{x_2}{2!}\right)^{j_2} \dots \left(\frac{x_{n-k+1}}{(n-k+1)!}\right)^{j_{n-k+1}}, \quad (1)$$

где  $\begin{cases} j_1 + j_2 + \dots = k \\ j_1 + 2j_2 + 3j_3 + \dots = n \end{cases}$  и суммирование ведётся по всем последова-

тельностью  $j_1, j_2, \dots, j_{n-k+1} (k = \overline{1, n})$ .

$N$ -м полным полиномом Белла называется сумма вида [2]

$$B_n(x_1, x_2, \dots, x_n) = \sum_{k=1}^n B_{n,k}(x_1, x_2, \dots, x_{n-k+1}). \quad (2)$$

Изучением полиномов Белла занимались такие учёные, как Луис Комте [2], Джон Риордан [3], Стивен Роман [4] и др. Полиномы Белла нашли широкое применение в решении различных математических задач. В наше время полиномы Белла являются востребованным аппаратом при решении задач комбинаторного анализа, например для подсчёта числа цветных разбиений, сделанных непересекающимися диагоналями выпуклого многоугольника [5], в теории чисел, например, для получения формул чисел Моцкина [6] и сумм Эйлера и Стирлинга [7], нелинейных эволюционных уравнений в гидродинамике [8–10].

В некоторых практических задачах требуется разложение заданных параметров в полином Белла, для этого можно использовать определение полиномов Белла (1) и (2) или рекуррентные формулы, но оба данных подхода имеют большую вычислительную сложность.

В работе [11] был предложен новый метод вычисления полиномов Белла, основанный на композитах обыкновенной производящей функции, позволяющий находить полиномы Белла, в которых аргументами являются производные заданной функции  $f(x)$ .

Целью данной работы является автоматизация нового метода вычисления полиномов и поиск существующих методов вычисления полиномов Белла для проведения сравнительного анализа методов.

Согласно [11] частичные полиномы Белла (1) могут быть представлены в следующем виде:

$$B_{n,k} = \frac{n!}{k!} Y^{\Delta}(n,k,x),$$

где  $Y^{\Delta}(n,k,x) = \sum_{\pi_k \in C_n} \frac{y^{(\lambda_1)}(x)}{\lambda_1!} \frac{y^{(\lambda_2)}(x)}{\lambda_2!} \dots \frac{y^{(\lambda_k)}(x)}{\lambda_k!}$  – композита обыкновенной производящей функции

$$Y(x,z) = y(x+z) - y(x) = \sum_{n>0} \frac{y^{(n)}(x)}{n!} z^n.$$

Представленный метод вычисления полиномов Белла был автоматизирован авторами в виде библиотеки для математического пакета Wolfram Mathematica [12]. Реализованная библиотека содержит 28 композит производящих функций вида  $Y^{\Delta}(n,k,x)$  и операции умножения, сложения и композиции над этими композитами для получения композит сложных функций.

В качестве существующих методов вычисления полиномов Белла для сравнения с новым методом предлагается использовать вычислительные методы, которые реализованы в математических пакетах. В таблице приведены математические пакеты, с помощью которых можно вычислять полиномы Белла, и функции их вычисления.

### Функции вычисления полиномов Белла в математических пакетах

Математический пакет	Функция	Описание функции
Wolfram Mathematica	BellY [13]	Вычисляет частичные полиномы Белла (1) для заданных значений $n$ , $k$ и последовательности $x_1, \dots, x_{n-k+1}$ .
Maple	CompleteBellB [14]	Вычисляет $N$ -полные полиномы Белла (2) для заданного значения $n$ и последовательности $x_1, \dots, x_n$ .
Sage	bell_polynomial [15]	Вычисляет частичные полиномы Белла (1) для заданных значений $n$ , $k$ .

Поскольку два из трёх приведённых математических пакетов являются проприетарным программным обеспечением и посчитать теоретическую сложность используемых ими методов невозможно, то сравнение будет выполняться эмпирически, а в качестве критериев сравнения выступят затрачиваемые на вычисление время и память.

Ни одна из приведённых функций не позволяет вычислить полином Белла для  $n$ -й производной функции  $f(x)$ . Для данного вычисления нужно найти необходимые производные и подставить их вместо последовательности  $x_1, \dots, x_{n-k+1}$  или последовательности  $x_1, \dots, x_n$ . Тогда произвести такое вычисление будет возможно в математических пакетах Wolfram Mathematica и Maple, в математическом пакете Sage нет возможности пользователю задавать такие последовательности.

В дальнейшем планируется провести сравнительный анализ нового метода вычисления полиномов Белла, основанного на композициях обыкновенных производящих функций, который был реализован в виде библиотеки для математического пакета Wolfram Mathematica с существующими вычислительными методами, реализованными в математических пакетах Wolfram Mathematica и Maple для выявления более эффективного.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ в рамках базовой части государственного задания ТУСУР на 2017–2019 годы (проект № 2.8172.2017/8.9).

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Bell E.T. Partition Polynomials / E.T. Bell // Annals of Mathematics. – 1927. – Vol. 29, № 1/4 (1927–1928). – P. 38–46.
2. Comtet L. Advanced combinatorics; the art of finite and infinite expansions. – D. Reidel Publ. Co., 1974. – 343 p.
3. Riordan J. An introduction to combinatorial analysis. – Princeton University Press, 1958. – 256 p.

4. Roman S. The Umbral Calculus. – Academic Press, Inc., 1984. – 195 p.
5. Birmajer D. Colored partitions of a convex polygon by noncrossing diagonals / D. Birmajer, G.B. Gil, M.D. Weiner // *Discrete Mathematics*. – 2017. – Vol. 340 (4). – P. 563–571.
6. Zhao J.-L. Two explicit formulas for the generalized Motzkin numbers / J.-L. Zhao, Q. Feng // *Journal of Inequalities and Applications*. – 2017. – Vol. 2017(1), Article 44. – 8 p.
7. Wang W. Euler sums and Stirling sums / W. Wang, Y. Lyu // *Journal of Number Theory*. – 2018. – Vol. 185. – P. 160–193.
8. Gilson C. On the Combinatorics of the Hirota D-Operators / C. Gilson, F. Lambert, J. Nimmo and R. Willox // *Proc. R. Soc. Lond. Ser. A Math. Phys. Eng. Sci.* – 1996. – Vol. 452. – P. 223–234.
9. Jiang Y. Solitons, Bäcklund transformation, and Lax pair for the (2+1)-dimensional Boiti-Leon-Pempinelli equation for the water waves / Y. Jiang, B. Tian, W.-J. Liu et al. // *Journal of Mathematical Physics*. – 2010. – Vol. 51(9), Article 093519. – 11 p.
10. Tu J.-M. On periodic wave solutions with asymptotic behaviors to a (3+1)-dimensional generalized B-type Kadomtsev–Petviashvili equation in fluid dynamics / J.-M. Tu, S.-F. Tian, M.-J. Xu, P.-L. Ma et al. // *Computers and Mathematics with Applications*. – 2016. – Vol. 72 (9). – P. 2486–2504.
11. Кручинин В.В. Степени производящих функций и их применение / В.В. Кручинин, Д.В. Кручинин. – Томск: Изд-во Том. гос. ун-та систем упр. и радиоэлектроники, 2013. – 236 с.
12. Мельман В.С. Разработка библиотеки для вычисления полиномов Белла в математическом пакете Wolfram Mathematica / В.С. Мельман, Д.В. Кручинин, А.А. Шелупанов, М.Ч. Юсупов // Матер. Междунар. науч.-практ. конф. на тему «Роль информационно-коммуникационных технологий в инновационном развитии Республики Таджикистан», 17–18 ноября 2017 г. – Душанбе, Таджикистан, 2017. – С. 267–272.
13. Wolfram Language & System. Documentation Center [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://reference.wolfram.com/language/> (дата обращения: 20.02.2018).
14. Maple Help Online [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.maplesoft.com/support/help/> (дата обращения: 20.02.2018).
15. Sage Documentation [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://doc.sagemath.org/html/en/reference/> (дата обращения: 20.02.2018).

# ИССЛЕДОВАНИЕ АЛГОРИТМА «СТРЕКОЗ» ДЛЯ МНОГОМЕРНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ И ОЦЕНКА РЕЗУЛЬТАТОВ ЕГО РАБОТЫ

*Н.П. Корышев, студент*

*Научный руководитель И.А. Ходашинский, проф. каф. КИБЭВС, д.т.н.*

*г. Томск, ТУСУР, каф. БИС, koryshev1997@gmail.com*

*Проект ГПО КИБЭВС-1705 «Нечёткие системы»*

Оптимизация подразумевает собой задачу нахождения экстремума или оптимума некоторой целевой функции в некоторой области конечномерного непрерывного пространства, называемого пространством поиска. При наличии нескольких оптимумов ставится задача найти глобальный оптимум – наилучшее решение.

Существуют различные алгоритмы решения задачи оптимизации. Метаэвристические алгоритмы, основанные на имитации поведения животных, физических процессов или явлений, позволяют осуществлять поиск оптимума функций с высокой точностью, т.к. имеют меньшую вероятность попадания в локальные экстремумы по сравнению с классическими алгоритмами, которые используют процедуры вычисления производных [1].

Цель работы – изучение и реализация метаэвристического алгоритма «стрекоз» (Dragonfly Algorithm, или DA) и сравнение результатов его работы с аналогичными результатами других метаэвристик.

**Описание алгоритма.** Алгоритм «стрекоз» – метаэвристический алгоритм роевого интеллекта, основанный на роевом поведении стрекоз [2]. Данный алгоритм был разработан на основе алгоритма роящихся частиц (PSO) [3]: для имитации движения частиц в пространстве используются два вектора – позиции и скорости (размер векторов равен размерности пространства поиска). Значение вектора позиции  $X_{t+1}^{(i)}$  некоторой особи на следующей итерации выполнения алгоритма определяется следующим образом:

$$X_{t+1}^{(i)} = X_t^{(i)} + \Delta X_{t+1}^{(i)}, \quad i = \overline{1, n}, \quad (1)$$

где  $i$  – номер данной особи в рое;  $t$  – номер текущей итерации;  $X_t^{(i)}$  – вектор позиции частицы на итерации  $t$ ;  $\Delta X_{t+1}^{(i)}$  – вектор скорости частицы на итерации  $t+1$ ;  $n$  – общее количество особей в рое. Вектор скорости определяется по формуле

$$\Delta X_{t+1}^{(i)} = \left( S_t^{(i)} s_t + A_t^{(i)} a_t + C_t^{(i)} c_t + F_t^{(i)} f_t + E_t^{(i)} e_t \right) + w_t \Delta X_t^{(i)}, \quad (2)$$

где  $S_t^{(i)}$  – отклонение  $i$ -й особи от соседних;  $s_t$  – коэффициент отклонения;  $A_t^{(i)}$  – согласование скорости  $i$ -й особи со скоростями сосед-

них;  $a_t$  – коэффициент согласования;  $C_t^{(i)}$  – отклонение среднего значения позиций соседних особей от позиции  $i$ -й особи;  $c_t$  – коэффициент сплочённости;  $F_t^{(i)}$  – привлечение  $i$ -й особи к пище (приближение к наилучшему решению на данный момент времени);  $f_t$  – пищевой фактор;  $E_t^{(i)}$  – отдаление  $i$ -й особи от врага (избегание наихудшего решения, найденного на данный момент времени);  $e_t$  – вражеский фактор;  $w_t$  – инерционный вес;  $\Delta X_t^{(i)}$  – вектор скорости  $i$ -й особи на текущей итерации  $t$ .

Из формулы (2) следует, что вектор скорости зависит от количества других особей популяции, находящихся в радиусе соседства. Радиус и коэффициенты в (2) адаптивно изменяются с каждой итерацией. Когда в радиусе соседства частицы не находится источник пищи, поведенческие характеристики в формуле (2) не учитываются. Если же у особи отсутствуют «соседи», то значение вектора скорости приравнивается к нулю, а вместо формулы (1) используется следующая:

$$X_{t+1}^{(i)} = X_t^{(i)} + \text{Levy}(d) \cdot X_t^{(i)}, \quad i = \overline{1, n},$$

где  $\text{Levy}(d)$  – распределение Леви;  $d$  – размерность пространства поиска.

Таким образом, последовательность выполнения алгоритма проста. После генерации популяции на каждой итерации вычисляется значение целевой функции, далее определяются коэффициенты, а затем – поведенческие шаблоны, вектора скорости и позиции каждой частицы.

**Эксперимент и полученные результаты.** Работоспособность DA оценивается с помощью набора математических тестовых функций, представленных в табл. 1 вместе с их параметрами. Алгоритм должен найти оптимум соответствующей тестовой функции.  $F1$  и  $F2$  являются унимодальными функциями,  $F3$  и  $F4$  – мультимодальными.

Результаты эксперимента представлены в табл. 2. Здесь же для сравнения представлены аналогичные результаты работы алгоритмов PSO, гравитационного алгоритма (GSA) и простого случайного поиска (RS). Условия эксперимента для всех алгоритмов были одинаковы: количество выполнений – 30 раз, численность популяции – 30, число итераций – 500. Инерционный вес в PSO изменялся от 0,9 до 0,7; в GSA значение коэффициента  $\alpha$  равнялось 20, константы  $G_0$  – 100 [4]. На рис. 1 представлены кривые сходимости алгоритмов DA и RS для каждой целевой функции.



Таблица 1

## Набор тестовых функций

Функция	$d$	Обл. определения	$f_{\min}$
$F1(x) = \sum_{i=1}^n \left( \sum_{j=1}^i x_j \right)^2$	10	$x_i \in [-100; 100]$	0
$F2(x) = \sum_{i=1}^{n-1} [100(x_{i+1} - x_i^2)^2 + (x_i - 1)^2]$	10	$x_i \in [-30; 30]$	0
$F3(x) = -20 \exp \left( -0,2 \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i^2} \right) + 20 + e - \exp \left( \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \cos(2\pi x_i) \right)$	10	$x_i \in [-32; 32]$	0
$F4(x) = \frac{1}{4000} \sum_{i=1}^n x_i^2 - \prod_{i=1}^n \cos \left( \frac{x_i}{\sqrt{i}} \right) + 1$	10	$x_i \in [-600; 600]$	0

Таблица 2

## Средние значения результатов работы алгоритмов

Функция	DA	RS	PSO	GSA
F1	2,6008	4602,115	5,9504	16,791
F2	104,5065	2358990,76	33,7002	122,7752
F3	0,9377	16,392	0,3193	$1,81 \cdot 10^{-8}$
F4	0,1745	40,4382	0,69	3,3018

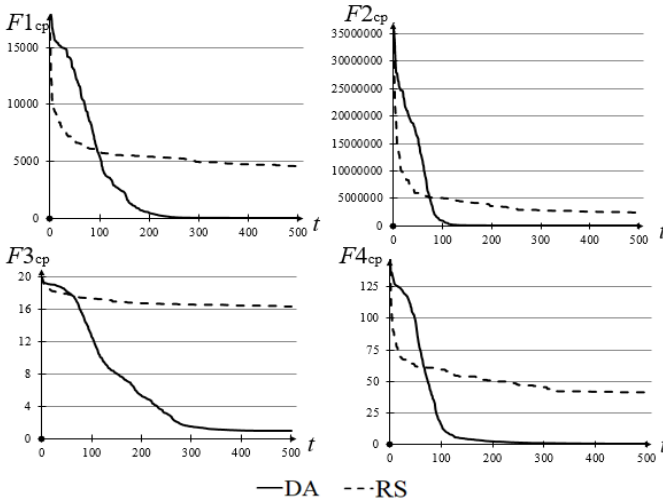


Рис. 1. Кривые сходимости алгоритмов DA и RS на всех целевых функциях

**Заключение.** Полученные результаты свидетельствуют о превосходстве алгоритма DA над случайным поиском; это справедливо и для PSO, и для GSA. Однако DA не показывает явного преимущества над другими известными алгоритмами как по конечному результату, так и по скорости сходимости. Это означает, что для выявления каких-либо преимуществ данной метаэвристики её исследование необходимо продолжить.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Ходашинский И.А., Дудин П.А. Идентификация нечетких систем на основе непрерывного алгоритма муравьиной колонии // Автометрия. – 2012. – Т. 48, № 1. – С. 45–71.
2. Mirjalili S. Dragonfly algorithm: a new meta-heuristic optimization technique for solving single-objective discrete and multi-objective problems // Neural Computing and Applications. – 2015. – Vol. 1, No. 1.
3. Eberhart R.C., Shi Y. Particle swarm optimization: developments, applications and resources // Proceedings of the 2001 congress on evolutionary computation. – P. 81–86.
4. Rashedi E, Nezamabadi-Pour H, Saryazdi S. GSA: a gravitational search algorithm // Information Sciences. – 2009. – Vol. 179. – P. 2232–2248.

### КЛАССИФИКАЦИЯ ПАТОЛОГИЙ ДИССЕМНИРОВАННОГО ТУБЕРКУЛЁЗА ЛЁГКИХ С ПОМОЩЬЮ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ

*К.А. Костин, аспирант отд. ИТ НИТПУ;*

*Т.С. Ламонова, магистрант каф. АОИ ТУСУРа*

*Научный руководитель С.В. Аксёнов, доцент отд. ИТ НИТПУ, к.т.н.  
г. Томск, НИТПУ, ТУСУР, kak@tpu.ru*

В настоящее время согласно статистике Всемирной организации здравоохранения туберкулёз лёгких наряду с другими заболеваниями органов дыхания входит в рейтинг десяти самых распространённых причин смерти в мире и по состоянию на 2015 г. занимает в нём девятую позицию [1]. В России по состоянию на 2016 г. в среднем на 100 000 населения приходится 9,5 смерти от этого заболевания [2].

Одной из проблем борьбы с туберкулёзом является сложность его ранней диагностики. Одними из наиболее информативных и точных методов диагностики туберкулёза являются лучевые методы, в частности компьютерная томография (КТ). Но эффективность их применения напрямую зависит от опыта и квалификации врача: зачастую очень затруднительно обнаружить и распознать патологии туберкулёза на ранних стадиях развития болезни [3]. Таким образом, актуальной

задачей на сегодняшний день является разработка компьютерной системы медицинской диагностики для автоматического детектирования и классификации различных клинических форм туберкулёза лёгких.

Существующие исследования направлены на выявление основных КТ-характеристик различных форм туберкулёза лёгких [4], извлечение различных признаков из КТ-снимков [5] и детектирование патологий с помощью полученных признаков [6].

Целью данной работы как этапа разработки системы медицинской диагностики является оценка состоятельности применения различных методов машинного обучения для классификации патологий диссеминированного туберкулёза лёгких по текстурным характеристикам.

Основные задачи исследования:

1. Осуществить сегментацию области лёгких на каждом КТ-срезе пациента.

2. Получить текстурные характеристики выделенных тканей лёгких с помощью метода Gray Level Co-Occurrence Matrix (GLCM) [7].

3. Провести классификацию тканей лёгких на принадлежность к патологиям диссеминированного туберкулёза с помощью различных методов машинного обучения.

4. Оценить состоятельность и качество работы различных методов машинного обучения для данной задачи.

Исходными данными для проведения исследования является набор неперсонифицированных данных компьютерной томографии 31 пациента с подтверждённым диагнозом диссеминированного туберкулёза лёгких.

Сегментация областей лёгких на КТ-срезе пациента производится в три этапа. Для данных компьютерной томографии предварительно производится нормализация по формуле (1) и на первом этапе алгоритма сегментации производится кластеризация значений КТ-данных с помощью алгоритма  $k$ -means со значением  $k$ , равным 2. Это необходимо для отделения более плотных тканей тела пациента от менее плотных тканей воздуха вокруг тела пациента и в лёгких:

$$v_{norm} = mean(\bar{v}) - sdev(\bar{v}). \quad (1)$$

На втором этапе сегментации для подавления шумов производится эрозия с шириной окна, равной 3, и дилация с шириной окна, равной 9. На третьем этапе сегментации осуществляется выбор наиболее подходящих регионов из полученных сегментов на основе их расположения на КТ-срезе. Полученные сегменты определяют маску элементов данных на срезе, которые принадлежат ткани лёгких. Результаты сегментации в виде снимков КТ приведены на рис. 1.

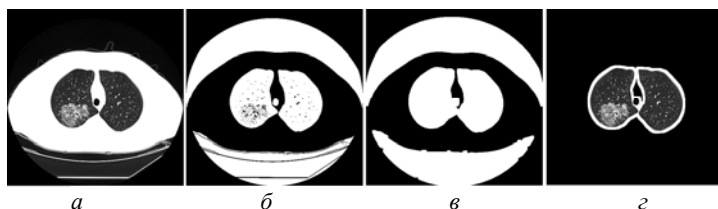


Рис. 1. Результаты этапов алгоритма сегментации лёгких для снимка КТ: *а* – исходный снимок в лёгочном электронном окне; *б* – результат кластеризации *k-means*; *в* – результат эрозии и дилации; *г* – применение полученной маски сегментов лёгких к исходному снимку КТ

Для извлечения текстурных характеристик тканей лёгких в данной работе применяется метод GLCM, заключающийся в анализе фрагмента изображения с помощью окна определённого размера и преобразовании интенсивностей цвета в соответствии с выбранным числом уровней квантования серого. На основе полученных значений строятся матрицы смежности уровней яркости пикселей для различных углов. Значения матрицы смежности определяют текстурные признаки, описывающие ткани лёгких на КТ-срезах.

Для проведения экспериментов по классификации патологий диссеминированного туберкулёза были использованы пять алгоритмов машинного обучения: *k* ближайших соседей, деревья решений, логистическая регрессия, метод опорных векторов и полносвязная нейронная сеть (пресептрон). Вся выборка снимков КТ пациентов была разделена на тестовую (10 % снимков) и обучающую (90 % снимков). Текстурные признаки GLCM были получены с использованием наиболее эффективных параметров: размер окна 20, число уровней квантования – 5 [8]. Обучение каждого из алгоритмов производилось с помощью метода кроссвалидации по пяти разделениям. При тестировании в качестве показателя качества классификации принимался показатель Ассигасу – доля верно классифицированных образцов. Результаты тестирования представлены в таблице.

**Результаты тестирования алгоритмов машинного обучения для задачи классификации патологий диссеминированного туберкулёза лёгких**

Алгоритм	kNN	Decision Tree	Logistic Regression	SVM	Neural Net
Ассигасу, %	63,3	64,6	68,7	67,2	66,2

Из полученных результатов видно, что все методы показали достаточно близкие по качеству результаты. При этом наилучшие результаты были получены с помощью методов логистической регрессии и метода опорных векторов.

Результаты исследования показывают, что методы машинного обучения являются достаточно состоятельными для задачи классификации патологий диссеминированного туберкулёза лёгких по текстурным характеристикам. Однако полученное качество пока является недостаточно высоким для применения данных методов в компьютерной системе медицинской диагностики и требуют дальнейших улучшений. Поэтому в будущем планируется улучшить качество сегментации путём учёта формы лёгких по костям рёбер, а также применить более точные методы классификации, такие как градиентный бустинг и свёрточные нейронные сети.

Данные для исследования предоставлены Национальной академией наук Белоруссии. Исследование поддержано грантом Российского фонда фундаментальных исследований № 16-47-700289 p<sub>a</sub>.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Global Health Observatory (GHO) data / World Health Organization. 2018. – URL: [http://www.who.int/gho/mortality\\_burden\\_disease/causes\\_death/top\\_10/en/](http://www.who.int/gho/mortality_burden_disease/causes_death/top_10/en/) (дата обращения: 04.03.2018).
2. Russian Federation, Tuberculosis Country Profiles / World Health Organization. 2018. – URL: [https://extranet.who.int/sree/Reports?op=Replet&name=%2FWHO\\_HQ\\_Reports%2FG2%2FPROD%2FEXT%2FTBCountryProfile&ISO2=RU&LAN=EN&outtype=html](https://extranet.who.int/sree/Reports?op=Replet&name=%2FWHO_HQ_Reports%2FG2%2FPROD%2FEXT%2FTBCountryProfile&ISO2=RU&LAN=EN&outtype=html) (дата обращения: 04.03.2018).
3. Berlin L. Accuracy of Diagnostic Procedures: Has It Improved Over the Past Five Decades? / L. Berlin // *AJR*. – 2007. – Vol. 188. – P. 1173–1178.
4. Soussan M. Patterns of pulmonary tuberculosis on FDG-PET/CT / M. Soussan, P.Y. Brillet, A. Mekinian et al. // *Eur. J. Radiol.* – 2012 – Vol. 81, Is. 10. – P. 2872–2876.
5. Song Q. Imaging Features of Pulmonary CT in Type 2 Diabetic Patients with Multidrug-Resistant Tuberculosis / Q. Song, G. Zhang, H. Jiang, Y. Ren, X. Lu // *PLoS One*. – 2016. – Vol. 11, Is. 3.
6. Ramya R. Automatic tuberculosis screening using canny Edge detection method / R. Ramya, P.S. Babu // *ICECS*. – 2015. – P. 282–285.
7. Haralick R.M. Texture features for image classification / R.M. Haralick, R. Bosley // *Proceedings «3th Earth Res. Tech. Satel. Symp.»*. – 1973. – Vol. SP-351. – P. 1929–1969.
8. Костин К.А., Лассе Бах, Аксёнов С.В. Использование текстурных характеристик для детектирования патологий диссеминированного туберкулёза лёгких [Электронный ресурс] // Молодёжь и современные информационные технологии: сб. тр. XV Междунар. науч.-практ. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых, Томск, 04–07 декабря 2017. – Томск: ТПУ, 2017. – С. 390–391.

## АЛГОРИТМЫ РАЗДЕЛЕНИЯ ЦИФРОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ НА ЗНАЧИМЫЕ И МАЛОЗНАЧИМЫЕ ОБЛАСТИ

*П.И. Култаев, Д.А. Облаков, студенты*

*Научный руководитель О.О. Евсютин, доцент, к.т.н.*

*г. Томск, ТУСУР, каф. БИС, pkultaev96@mail.ru*

*Проект ГПО БИС-1701 «Методы цифровой стеганографии»*

Любое осмысленное цифровое изображение можно разделить на значимые и малозначимые области. Значимыми областями изображения являются те его участки, искажение которых повлечет за собой значимые изменения, различимые человеческим глазом. Малозначимыми областями являются те, изменения которых не приведут к видимым для человеческого глаза искажениям.

В данной работе описываются оригинальные алгоритмы выделения значимых и незначимых областей на изображении. Это необходимо в некоторых задачах обработки цифровых изображений [1], в том числе в стеганографии [2, 3].

Рассматриваемые алгоритмы предназначены для работы с полутоновыми изображениями. Разделение изображений на значимые и малозначимые области состоит из трех этапов:

1. Предобработка.
2. Выделение значимых областей.
3. Выделение малозначимых областей.

Предобработка включает в себя преобразование Фурье с последующим выводом фазовой части, а также установление порога значимости пикселя для устранения шумов. На рис. 1 слева – исходное изображение, справа – изображение после первичной обработки.

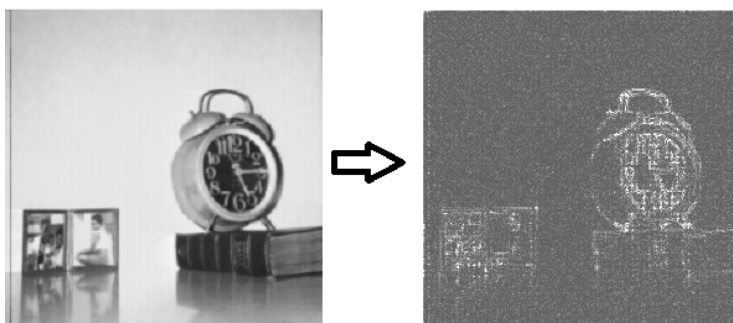


Рис. 1. Результат выполнения предобработки

Следующим этапом является выделение значимых областей. На вход подается изображение после предобработки. Это изображение

состоит из черного фона и контуров объектов в различных оттенках серого. Эти контуры и определяют, какие из областей изображения являются значимыми, в то время как черный фон является малозначимой областью. Также на вход подается параметр поиска  $G$ . Это целое число, показывающее, на каком расстоянии от исходного пикселя происходит поиск других пикселей, входящих в область. На выходе получается изображение с выделенными значимыми областями. Основная идея алгоритма состоит в постепенном «разворачивании» значимой области, изначально состоящей из одного пикселя.

Изображение сканируется сверху вниз, слева направо до нахождения первого серого пикселя. Этот пиксель считается значимой областью, которая будет разворачиваться в ходе последующих шагов. После его нахождения происходит проверка четырех сторон от этого пикселя на заданном расстоянии  $G$ . Значения этого параметра в алгоритме могут меняться в зависимости от целей выделения и формата самого изображения. Если справа от пикселя на заданном расстоянии есть еще хотя бы один серый пиксель, все пиксели на этом расстоянии присоединяются к изначальному. Теперь область представляет собой линию. Далее для каждого из пикселей полученной области происходит аналогичная проверка. Если справа от области больше нет серых пикселей, проверяются пиксели снизу, затем сверху и слева. Если на всех четырех направлениях больше нет серых пикселей, полученная область считается значимой, в проверке дальше не принимает участия, алгоритм начинает выполняться снова с первого необработанного пикселя.

Результат выполнения алгоритма для трех изображений представлен на рис. 2. Значимые области выделены прямоугольниками.

Завершающим этапом является алгоритм выделения малозначимых областей. На вход подается изображение с выделенными на нем значимыми областями, на выходе – изображение с выделенными значимыми и незначимыми областями.

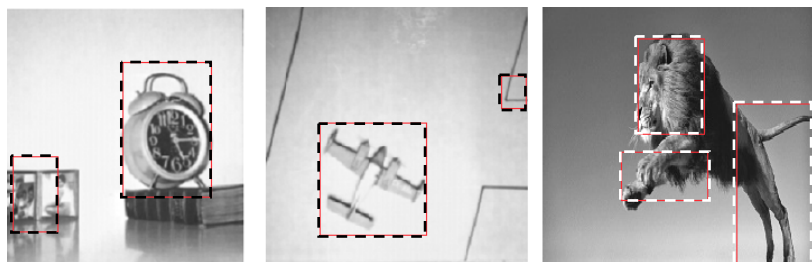


Рис. 2. Выделенные значимые области

Изображение сканируется сверху вниз слева направо до нахождения первого пикселя, который не входит в значимую область. Координаты этого пикселя – левая и верхняя координата малозначимой области. Абсцисса точки увеличивается до попадания в конец изображения или границу значимой области. Эта точка является правой координатой области. Затем ордината точки уменьшается до попадания в конец изображения или границы значимой области. Это является нижней координатой области. В результате получается область в виде прямоугольника. Алгоритм повторяется снова с первого необработанного пикселя.

В результате выполнения двух вышеописанных алгоритмов получится сетка, результаты переноса которой на изображения представлены на рис. 3. На данном рисунке пунктиром выделены значимые области изображения, линией – незначимые.

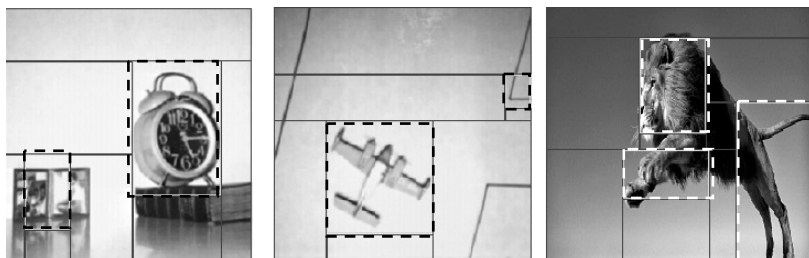


Рис. 3. Выделенные значимые и незначимые области

Представленные алгоритмы оперируют двумя параметрами, которые влияют на то, как изображение будет разделено на значимые и малозначимые области. Параметр поиска  $G$  – расстояние от исходного пикселя, на котором происходит проверка наличия других пикселей, входящих в значимую область. Параметр значимости  $H$  – целое число, являющееся порогом. Если значение пикселя ниже этого порога, он становится черным. Это происходит на этапе предобработки после применения преобразования Фурье. Этот параметр нужен для уменьшения шума на изображении.

Был проведен ряд экспериментов с параметрами для нахождения наиболее подходящих значений. Наиболее подходящими принимаются параметры, выделение областей при которых наиболее близко к эталонному значению. Эталоном является выделение областей человеком. На рис. 4 представлено 3 изображения: исходное, изображение со значениями параметров  $H = 90, G = 20$  и  $H = 120, G = 5$ .



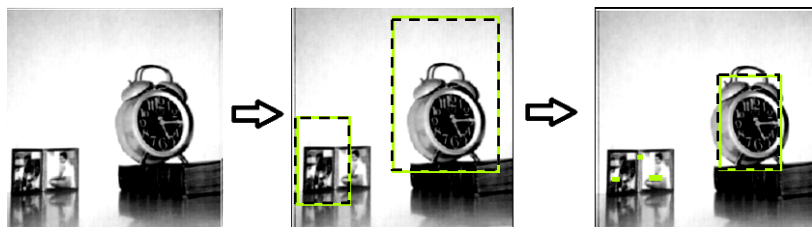


Рис. 4. Сравнение параметров

По результатам серии экспериментов было сделано выводы о том, что наиболее подходящие параметры зависят от характера изображения. Так, для изображения с несколькими крупными значимыми областями, оптимальным набором параметров являются  $G = 15$ ,  $H = 100$ , а для изображения с множеством маленьких областей  $G = 5$ ,  $H = 90$ .

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Гонзалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений. – М., 2005. – 1071 с.
2. Fridrich J. Feature-Based Steganalysis for JPEG Images and Its Implications for Future Design of Steganographic Schemes // Information Hiding, series Lecture Notes in Computer Science. – 2004. – Vol. 3200. – P. 67–81.
3. Shih F.Y., Zhong X., I-Cheng Chang, Shin'ichi Satoh. An adjustable-purpose image watermarking technique by particle swarm optimization. – 2016. – P. 4–9.

### ПОСТРОЕНИЕ ИНСТРУМЕНТАРИЯ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ РЕАБИЛИТАЦИОННОГО ПОТЕНЦИАЛА ПАЦИЕНТА НА ОСНОВЕ РЕТРОСПЕКТИВНЫХ ДАННЫХ

*И.В. Сагалакова, студентка*

*Научный руководитель И.А. Ходашинский, проф. каф. КИБЭВС,  
д.т.н.*

*г. Томск, ТУСУР, каф. КИБЭВС, 723\_siv@fb.tusur.ru*

В наше время машинное обучение может применяться в любых сферах: от регулирования температуры в комнате до определения мошенников по транзакциям. Среди всех областей использования машинного обучения направление медицины считается одним из стратегически важных в рассмотрении вопроса эффективного внедрения технологий машинного обучения.

При определении медицинского прогноза привлекается большее количество собранных данных о состоянии пациента, чем требуется для диагностики, также к данным добавляются результаты лечения больного. Ввиду большого количества данных велика вероятность ошибки человека. Задачу можно переложить на машинный интеллект.

**Определение цели.** Цель заключается в построении инструментария для прогнозирования реабилитационного потенциала пациента на основе ретроспективных данных, учитывая, что используются только те данные, которые были получены на момент поступления пациента.

**Используемые данные.** Эмпирическая база для работы над проектом была предоставлена ФГУ Томского НИИ курортологии и физиотерапии ФМБА России. В ней заключались данные пациентов, прошедших реабилитацию. Все обследованные лица дали добровольное информированное согласие на участие в исследовании.

В этой базе для отслеживания изменений состояния здоровья у пациентов были собраны более 60 показателей различных систем организма до реабилитации и после. Исследовались результаты психологических опросников, определяющие постстрессовые нарушения. Рассматривалось состояние вегетативной нервной системы. Были собраны анализы различных гормонов, состава крови. Были взяты данные по большому спектру медицинских вопросов.

Для выполнения поставленной задачи базу потребовалось подкорректировать для выявления только необходимых данных, в итоге база включает в себя 86 признаков и 371 экземпляр с анализами пациентов.

**Реализация.** Для реализации данной работы была написана программа на языке Python. Программа обращалась к библиотеке scikit-learn [1], в которой хранится большое количество алгоритмов машинного обучения.

**Алгоритмы.** Были использованы алгоритмы бинарной логистической регрессии [2] и «случайный лес» [3]. С целью повышения точности классификации были опробованы разные методы отбора признаков (одномерный отбор признаков, «жадный алгоритм», рекурсивное исключение признаков). Наибольшая точность классификации была получена при отборе признаков методом рекурсивного исключения, за который в библиотеке scikit-learn отвечает класс RFE.

**Эксперимент.** Средняя точность, продемонстрированная алгоритмом бинарной логистической регрессии, составила 0,626. А средняя точность «случайного леса» – 0,637. Необходимо было удостовериться, что алгоритм случайного леса является предпочтительнее, чем

алгоритм логистической регрессии для получения наиболее точного результата, т.к. если сравнивать алгоритмы на основе лишь средней точности, то «случайный лес» является лучшим вариантом. Требуется проверить другие случаи.

Поэтому было решено сравнить эти два классификатора на одних и тех же выборках (обучающие и тестовые выборки разбивались случайным образом при каждом включении программы). В табл. 1 приведена часть полученных результатов.

Таблица 1

**Результаты сравнения алгоритмов на полной выборке**

Логистическая регрессия			Случайный лес		
precision	recall–	recall+	precision	recall–	recall+
0,64	0,85	0,36	0,61	0,8	0,38
0,61	0,79	0,38	0,7	0,88	0,43
0,61	0,66	0,5	0,64	0,78	0,44
0,65	0,76	0,5	0,71	0,82	0,55
0,54	0,66	0,4	0,66	0,89	0,33
0,67	0,85	0,41	0,66	0,89	0,33
0,64	0,76	0,46	0,61	0,76	0,4
0,55	0,94	0,09	0,66	0,63	0,61
0,57	0,79	0,32	0,58	0,59	0,58

Колонка «precision» обозначает точность на тестовой выборке, «recall–» показывает соответствие верному результату, когда пациент не пойдет на поправку, «recall+» показывает соответствие верному результату, когда пациент пойдет на поправку. Каждая строка обозначает один прогон по алгоритмам с новым разбиением выборки.

Судя по полученным результатам, «случайный лес» опережает логистическую регрессию. Но не во всех случаях «случайный лес» показывал большую точность, только в двух случаях из трех.

Таблица 2

**Результаты сравнения алгоритмов на уменьшенной выборке**

Логистическая регрессия			Случайный лес		
precision	recall–	recall+	precision	recall–	recall+
0,6	0,6	0,57	0,41	0,5	0,29
0,52	0,62	0,4	0,56	0,38	0,7
0,62	0,5	0,73	0,48	0,5	0,45
0,49	0,2	0,77	0,49	0,5	0,46
0,87	1	0,32	0,86	1	0,05
0,53	0,47	0,5	0,59	0,47	0,62
0,36	0,43	0,19	0,65	0,71	0,44
0,82	1	0,4	0,41	0,38	0,33
0,7	0,64	0,75	0,62	0,73	0,5

С целью более детального сравнения алгоритмов было принято решение проверить данные на меньшей выборке. Исходная выборка была уменьшена в пять раз.

По данным результата вышло в точности наоборот. В двух случаях из трех большую точность показала логистическая регрессия.

**Заключение.** Сделан вывод, что если при прогнозировании имеется большая выборка, то следует применять алгоритм «случайного леса», если же большой выборки не имеется, то доверять прогноз можно логистической регрессии. Построенный инструментарий показал приемлемую точность. Для увеличения точности предполагается, что необходимо собрать большую выборку.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Supervised learning – scikit-learn 0.19.1 documentation [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://scikit-learn.org/stable/supervised\\_learning.html#supervised-learning](http://scikit-learn.org/stable/supervised_learning.html#supervised-learning)

2. Логистическая регрессия и ROC-анализ – математический аппарат | BaseGroup Labs [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://basegroup.ru/community/articles/logistic>

3. Случайный лес (Random Forest). Анализ малых данных [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://alexanderdyakonov.wordpress.com/2016/11/случайный-лес-random-forest/>

4. Прогнозирование эффективности немедикаментозного лечения на основе ансамблей классификаторов / А.А. Зайцев, И.А. Ходашинский, О.О. Плотников // Вопросы курортологии, физиотерапии и лечебной физической культуры. – 2011. – № 4. – С. 46–49.

5. Метод прогнозирования эффективности восстановительного лечения на основе дерева решений / А.А. Зайцев, Е.Ф. Левицкий, И.А. Ходашинский, О.О. Плотников, Л.В. Барабаш // Вопросы курортологии, физиотерапии и лечебной физической культуры. – 2010. – № 5. – С. 35–38.

### **БИНАРНЫЙ АЛГОРИТМ ОБЕЗЬЯН ДЛЯ ОТБОРА ПРИЗНАКОВ НЕЧЕТКОГО КЛАССИФИКАТОРА**

*С.С. Самсонов, студент*

*Научный руководитель И.А. Ходашинский, проф. каф. КИБЭВС,  
д.т.н.*

*г. Томск, ТУСУР, каф. КИБЭВС, samsonicx@mail.ru*

Одной из важных задач в интеллектуальном анализе данных и распознавании образов является отбор релевантных признаков. Указанная задача формулируется как поиск оптимального подмножества признаков, обладающего минимальной избыточностью и максимальной прогностической способностью. Отбор признаков как метод

предварительной обработки данных может потенциально способствовать не только повышению эффективности алгоритмов обучения, но и повышению способности обобщения [1].

Цель данной работы – разработка бинарного алгоритма обезьян для отбора признаков для нечёткого классификатора

**Нечеткий классификатор** может быть представлен в виде функции, которая присваивает точке в пространстве входных признаков метку класса с вычисляемой степенью уверенности:

$$f: \mathfrak{R}^n \rightarrow [0,1]^m.$$

Основой нечеткого классификатора является продукционное правило следующего вида:

$$R_{ij} : \text{ЕСЛИ } s_1 \otimes x_1 = A_{1i} \text{ И } s_2 \otimes x_2 = A_{2i} \text{ И } \dots \text{ И } s_n \otimes x_n = A_{ni} \text{ ТО class} = c_j,$$

где  $A_{ki}$  – нечеткий терм, характеризующий  $k$ -й признак в  $i$ -м правиле ( $i \in [1, R]$ ); запись  $s_i \otimes x_i$  указывает на наличие ( $s_i = 1$ ) или отсутствие ( $s_i = 0$ ) признака в классификаторе;  $R$  – число правил.

Пусть имеется таблица наблюдений  $\{(\mathbf{x}_p, c_p), p = \overline{1, z}\}$ , определим следующую единичную функцию:

$$\text{delta}(p, \theta) = \begin{cases} 1, & \text{если } c_p = \arg \max_{1 \leq j \leq m} f_j(\mathbf{x}_p, \theta), \\ 0, & \text{иначе,} \end{cases}$$

тогда функция пригодности или мера точности классификации может быть выражена следующим образом:

$$E(\theta, \mathbf{S}) = \frac{\sum_{p=1}^z \text{delta}(p, \theta)}{z}.$$

**Бинарный алгоритм обезьян.** Для работы данного алгоритма определяется  $M$  – численность популяции обезьян, в которой позиция каждой  $i$ -й обезьяны представляет решение, задаваемое вектором  $\mathbf{S}_i = (s_{i,1}, s_{i,1}, \dots, s_{i,1})$ , а также задаются параметры алгоритма;  $p$  – параметр инициализации и  $pr$  – параметр движения. В процессе работы алгоритма популяция делится на несколько групп, в каждой из которых присутствует свой лидер с наилучшим решением, в то время как в популяции всегда присутствует также и глобальный лидер, содержащий в себе самое лучшее решение, найденное в популяции.

Для инициализации агентов популяции используется формула 1, представленная ниже:

$$s_{i,j} = \begin{cases} 0, & \text{rand} < p, \\ 1, & \text{иначе,} \end{cases} \quad (1)$$

где  $\text{rand}$  – случайное число в диапазоне  $[0, 1]$ ;  $p$  – параметр алгоритма.

Формула (2) используется для обновления позиций каждого члена популяции в соответствии с позицией локального лидера

$$s_{i,j_{new}} = \begin{cases} s_{i,j} \oplus \left( \begin{array}{l} (b \otimes (LL_{k,j} \oplus s_{i,j})) \\ + (d \otimes (s_{r,j} \oplus s_{i,j})) \end{array} \right), & rand > p; \\ s_{i,j}, & \text{иначе,} \end{cases} \quad (2)$$

где  $b$ ,  $d$  принимают случайные значения из множества  $\{0;1\}$ ;  $LL_k$  – вектор, определяющий координаты локального лидера;  $S_r$  – вектор, определяющий координаты случайного агента из той же группы.

Вспомогательная формула (3) используется в формуле (4):

$$P_i = 0,9 \cdot \frac{E(\theta, S_i)}{\max E(\theta, S_i)} + 0,1. \quad (3)$$

Формула (4) задает координаты агентов в соответствии с положением глобального лидера

$$s_{i,j_{new}} = \begin{cases} s_{i,j} \oplus \left( \begin{array}{l} (b \otimes (GL_{k,j} \oplus s_{i,j})) \\ + (d \otimes (s_{r,j} \oplus s_{i,j})) \end{array} \right), & rand > p; \\ s_{i,j}, & \text{иначе,} \end{cases} \quad (4)$$

где  $GL$  – вектор, определяющий координаты глобального лидера.

Формула (5) задает координаты агентов в соответствии с положением глобального и локального лидеров.

$$s_{i,j_{new}} = \begin{cases} s_{i,j} \oplus \left( \begin{array}{l} (b \otimes (LL_{k,j} \oplus s_{i,j})) \\ + (d \otimes (GL_{r,j} \oplus s_{i,j})) \end{array} \right), & rand > p; \\ s_{i,j}, & \text{иначе,} \end{cases} \quad (5)$$

**Эксперимент.** Для подтверждения работоспособности алгоритма и оценки его эффективности были проведены тесты на наборах данных из репозитория KEEL (<http://www.keel.es/>). Использовался механизм кроссвалидации. Для проведения кроссвалидации фиксируется некоторое множество разбиений исходной выборки на две подвыборки: обучающую и контрольную. Для каждого разбиения выполнялся отбор признаков бинарным алгоритмом обезьян 10 раз. После этого бралось среднее значение признаков и точности классификации на каждой итерации по всем запускам. Также запускался алгоритм случайного поиска, которому в соответствии с алгоритмом обезьян было назначено такое же количество агентов и такое же количество итераций (20 агентов на всех выборках, 30 итераций на наборе данных Wine, 50 итераций на наборах данных Sonar, Spambase, Ionosphere). Результаты эксперимента представлены в табл. 1 и 2.

**Заключение.** В результате проведения эксперимента было установлено, что бинарный алгоритм обезьян не уступает и даже превосходит алгоритм случайного поиска в точности и количестве отбираемых признаков при равных условиях (равное количество агентов и итераций). Алгоритм обезьян находит более точное решение за меньшее количество итераций по сравнению со случайным поиском.

Таблица 1

**Сравнение средней точности на итерации**

Итер.	Spambase		Sonar		Ionosphere		Wine	
	OA	CA	OA	CA	OA	CA	OA	CA
1	61,5	61,7	59,1	59,4	60,6	60,5	61,0	61,5
5	63,0	62,2	61,5	60,1	63,1	61,2	64,4	62,2
10	63,9	62,3	62,3	60,5	64,1	61,3	65,9	63,1
15	64,6	62,4	63,1	60,6	65,0	61,9	66,3	63,1
20	64,8	62,6	63,4	60,8	65,5	62,0	66,3	63,1
25	65,0	62,7	63,5	61,0	65,7	62,2	66,4	63,2
30	65,1	62,8	63,6	61,0	65,7	62,5	66,5	63,2
35	65,2	62,8	63,6	61,1	65,7	62,5		
40	65,2	62,9	63,6	61,1	65,7	62,5		
45	65,2	63,1	63,6	61,1	65,7	62,8		
50	65,2	63,1	63,6	61,3	65,7	62,8		

В дальнейшем планируется адаптировать алгоритм для работы с нечётким аппроксиматором.

Таблица 2

**Сравнение среднего количества признаков на итерации**

Итер.	Spambase		Sonar		Ionosphere		Wine	
	OA	CA	OA	CA	OA	CA	OA	CA
1	31	33	30,2	30,8	25,2	30	9	7,4
5	29,3	31,5	28,5	29,9	23,4	29	6,4	6,6
10	28,3	29,8	27,5	29,1	21,6	27	6,4	6,6
15	27,1	29,5	27,4	28,5	19,8	25,4	6,4	6,1
20	25,2	29,4	27	28,5	19,3	24,2	6,4	6,3
25	24,3	29	27	28	18	22,5	6,2	6,3
30	24,2	28,9	26,8	28	18	21,1	6,1	6,4
35	24	27,9	26,8	27,9	18	19,9		
40	24	27,7	26,8	27,7	18	19,5		
45	24	27,6	26,8	27,6	18	19,2		
50	24	27,6	26,8	27,4	18	19,1		

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Chen Q., Zhang M., Xue B. Feature Selection to Improve Generalization of Genetic Programming for High-Dimensional Symbolic Regression // IEEE Transactions on Evolutionary Computation. – 2017. – Vol. 21, No. 5. – P. 792–806.

2. Мех М.А., Ходашинский И.А. Сравнительный анализ применения методов дифференциальной эволюции для оптимизации параметров нечетких классификаторов // Известия РАН. Теория и системы управления. – 2017. – № 4. – С. 65–75.
3. Tang J., Alelyani S., Liu H. Feature Selection for Classification: A Review // Data Classification. Algorithms and Applications. – Taylor & Francis Group, 2015. – P. 37–64.
4. Chiu S.L. Selecting Input Variables for Fuzzy Models. // Journal of Intelligent and Fuzzy Systems. – 1996. – Vol. 4, № 4. – P. 243–256.

## **ОТБОР ИНФОРМАТИВНЫХ ПРИЗНАКОВ ДЛЯ НЕЧЕТКОГО КЛАССИФИКАТОРА С ПОМОЩЬЮ БИНАРНОГО АЛГОРИТМА СТАИ ЛАСТОЧЕК**

*А.О. Слезкин, студент*

*Научный руководитель И.А. Ходашинский, проф. каф. КИБЭВС, д.т.н.  
г. Томск, ТУСУР, каф. КИБЭВС, 724\_sao@fb.tusur.ru  
Проект ГПО КИБЭВС-1211 «Нечеткие системы»*

Практически в любой задаче классификации, регрессии или прогнозирования возникают вопросы: какие признаки использовать, а какие нет; нужно ли как-то преобразовывать исходные признаки; какую модель зависимости применить в данной задаче? Проблема отбора признаков часто возникает из-за того, что на этапах постановки задачи и формирования данных ещё не ясно, какие признаки бесполезны или дублируют друг друга. Естественное стремление учесть как можно больше потенциально полезной информации приводит к появлению избыточных (шумовых) признаков. Однако если признак на самом деле не информативен, то есть не влияет на ответы, его включение в модель может только ухудшить её качество. Методы обучения должны отличать шумовые признаки и отбрасывать их [1].

Целью работы является реализация бинарного метаэвристического алгоритма стаи ласточек (Swallow Swarm Optimization) [2] для решения задачи отбора информативных признаков и сравнение результатов с дискретным алгоритмом случайного поиска.

**Постановка задачи.** В данной работе рассматривается нечеткий классификатор. Построение нечеткой системы осуществляется на основе таблицы наблюдений:

$$T = \{t_1, t_2, \dots, t_M\},$$

где  $t_k = (\mathbf{x}_k, c_k)$  – строка таблицы наблюдений;  $\mathbf{x}_k = (x_1, x_2, \dots, x_n)$  – вектор значений входных переменных;  $c_k$  – выходная метка класса;  $M$  – число наблюдений;  $n$  – число входных переменных.



На основе таблицы наблюдений на области определения каждой входной переменной формируются нечеткие термы.

Исходя из разбиения переменных на нечеткие термы, формируется база правил нечеткой системы. Правило для нечеткого классификатора имеет вид

$$IF x_1 = A_{1j} AND x_2 = A_{2j} AND \dots x_n = A_{nj} THEN class = c_j,$$

где  $j = \overline{1 \dots m}$ ,  $m$  – количество правил;  $A_{ij}$  – терм  $j$ -го правила  $i$ -й переменной;  $c_j$  – метка класса  $j$ -го правила [3].

Нечеткий классификатор может быть представлен как

$$C = f(\mathbf{x}, \boldsymbol{\theta}),$$

где  $\mathbf{x}$  – вектор значений входных переменных;  $\boldsymbol{\theta}$  – бинарный вектор, определяющий используемые входные переменные.

Степень принадлежности объекта к каждому классу вычисляется следующим образом:

$$\beta_j(\mathbf{x}, \boldsymbol{\theta}) = \sum_{R_{ij}} \prod_{k=1}^n A_{ki}(\mathbf{x}_k, \boldsymbol{\theta}_k), j = 1, 2, \dots, m.$$

Выходом классификатора является метка класса, определяемая следующим образом:

$$class = c_{j^*}, j^* = \arg \max \beta_j.$$

На множестве обучающих данных (таблица наблюдений) определим следующую функцию:

$$\delta(p, \boldsymbol{\theta}) = \begin{cases} 1, & \text{если } c_p = f(\mathbf{x}_p, \boldsymbol{\theta}), \\ 0, & \text{иначе.} \end{cases}$$

Тогда точность классификации выражается следующим образом:

$$E(\boldsymbol{\theta}) = \frac{1}{M} \sum_{p=1}^M \delta(p, \boldsymbol{\theta}).$$

**Описание алгоритма.** Бинарный алгоритм стаи ласточек является модификацией непрерывного алгоритма стаи ласточек и используется для отбора информативных признаков.

Главная идея алгоритма состоит в разделении всех частиц на три вида: частицы-лидеры (один глобальный и несколько локальных), частицы-исследователи и бесцельные частицы.

Роли зависят от положения частиц. Считается, что чем выше процент правильной классификации у частицы, тем лучше её положение.

Частицы-лидеры во время итерации не двигаются, а служат ориентиром для исследователей. Частицы-исследователи изучают проблемное пространство между ближайшим локальным лидером и гло-

бальным лидером. Для изменения их положения используются формулы:

$$\begin{aligned}\theta_{e_{i+1}} &= \text{merge}(\theta_{e_i}, \mathbf{V}_{i+1}), \\ \mathbf{V}_{i+1} &= \text{merge}(\mathbf{VHL}_{i+1}, \mathbf{VLL}_{i+1}), \\ \mathbf{VHL}_{i+1} &= \text{merge}(\text{merge}(\text{randbinvector}(n), \theta_{e_i}), \text{merge}(\theta_{HL}, \theta_{e_i})), \\ \mathbf{VLL}_{i+1} &= \text{merge}(\text{merge}(\text{randbinvector}(n), \theta_{e_i}), \text{merge}(\theta_{LL_i}, \theta_{e_i})),\end{aligned}$$

где  $\theta_{e_i}$  – положение  $i$ -й частицы-исследователя;  $\theta_{HL}$  – положение глобального лидера;  $\theta_{LL_i}$  – положение ближайшего до  $\theta_{e_i}$  локального лидера;  $\mathbf{V}_i$  – вектор скорости  $\theta_{e_i}$ ;  $\text{randbinvector}(n)$  – функция генерации случайного бинарного вектора размерности  $n$ ;  $\mathbf{VHL}$  – вектор скорости частицы относительно  $\theta_{HL}$ ;  $\mathbf{VLL}_i$  – вектор скорости частицы относительно  $\theta_{LL_i}$ .

Функция  $\text{merge}(\mathbf{x}, \mathbf{y})$  используется для объединения двух бинарных векторов. Результатом является вектор  $\mathbf{z}$ , той же размерности. Значения элементов результирующего вектора определяются следующим образом:

$$\mathbf{z}_t = \begin{cases} \mathbf{x}_t, & \text{если } \mathbf{x}_t = \mathbf{y}_t \\ \text{randbin}(), & \text{иначе,} \end{cases}$$

где  $t = \overline{1 \dots n}$ ,  $\text{randbin}()$  – функция генерации случайного бинарного значения.

Перемещение бесцельной частицы:

$$\theta_{o_{i+1}} = \text{randbinvector}(n).$$

**Полученные результаты.** Наборы данных для тестирования работы алгоритма были взяты из репозитория KEEL. Эксперименты проводились по схеме десятикратной кроссвалидации. Параметры алгоритма были выбраны следующие: размер популяции – 40, количество локальных лидеров – 3, количество бесцельных частиц – 6, количество итераций – 300.

Результаты экспериментов представлены в таблице, где Data – название набора данных;  $C$  – количество классов набора данных;  $F$  – количество признаков в наборе данных;  $F'$  – среднее количество признаков, оставленных алгоритмом;  $\text{Trn}$  – точность классификации на обучающей выборке;  $\text{Test}$  – точность классификации на тестовой выборке.

**Анализ полученных результатов.** Как видно из таблицы результатов (таблица), по отбору информативных признаков бинарный алгоритм стаи ласточек показал лучшие результаты на четырех наборах данных и равные результаты на двух наборах данных. Также би-

нарный алгоритм стаи ласточек не уступил бинарному алгоритму случайного поиска по точности классификации ни на одном наборе данных, а на шести из них показал лучшие результаты.

#### Результаты экспериментов

Data	C	F	BSSO			RS		
			F	Trn	Test	F	Trn	Test
cleveland	5	13	7,6	57,02	<b>51,63</b>	<b>7,2</b>	56,95	51,28
hepatitis	2	19	8,1	94,308	<b>85,159</b>	8,1	93,203	84,98
magic	2	10	3,9	71,389	71,439	3,9	71,389	71,439
satimage	7	36	<b>11,7</b>	64,49	<b>63,94</b>	15,8	63,39	62,47
segment	7	19	<b>8,3</b>	88,26	<b>86,02</b>	8,8	87,78	85,46
spambase	2	57	<b>22,6</b>	73,57	<b>73,45</b>	25,1	70,93	70,74
texture	11	40	<b>13</b>	68,49	<b>68,31</b>	16	66,85	66,09

**Заключение.** Таким образом, можно сделать вывод, что бинарный алгоритм стаи ласточек, имея реализацию сложнее и, соответственно, затрачивая на работу больше времени, чем бинарный алгоритм случайного поиска, оправдывает это более качественным отбором признаков.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Воронцов К.В. Лекции по методам оценивания и выбора моделей [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.machinelearning.ru/wiki/images/2/2d/Voron-ML-Modeling.pdf> (дата обращения: 28.02.2018).
2. Neshat M., Sepidnam G., Sargolzaei M. Swallow swarm optimization algorithm: a new method to optimization // Neural Computing and Application. – 2013. – Vol. 23, No. 2. – P. 429–454.
3. Ходашинский И.А. Идентификация нечетких систем: методы и алгоритмы // Проблемы управления. – 2009. – № 4. – С. 15–23.

### БИНАРИЗАЦИЯ АЛГОРИТМА «МОЗГОВОЙ ШТУРМ» В ЗАДАЧАХ ОТБОРА ПРИЗНАКОВ ДЛЯ НЕЧЕТКИХ КЛАССИФИКАТОРОВ

*Ю.А. Сорокина, студентка*

*Научный руководитель И.А. Ходашинский, проф. каф. КИБЭВС, д.т.н.  
г. Томск, ТУСУР, каф. КИБЭВС, 724\_sya@mail.ru  
Проект ГПО КИБЭВС-1211 «Нечеткие системы»*

Методы нечеткой логики и нечетких множеств достаточно широко используются в области классификации данных, а именно они нашли свое применение в задаче отбора признаков. Задача выбора оптимального набора признаков заключается в том, чтобы выбрать такое подмножество признаков из исходного набора признаков, что точ-

ность классификатора, обученного на этом подмножестве признаков, будет максимальной.

Целью данной работы является реализация работы алгоритма «Мозговой штурм» для отбора признаков.

**Постановка задачи.** Задача отбора признаков заключается в поиске на заданном множестве признаков такого их подмножества, которое при уменьшении числа признаков не приводит к существенному уменьшению точности классификации; решение представляется в виде вектора  $S=(s_1, s_2, \dots, s_n)$ , где  $s_i=0$  означает, что  $i$ -й признак не участвует в классификации,  $s_i=1$  означает, что  $i$ -й признак используется классификатором [1].

Эффективность отбора признаков во многом зависит от выбора подходящей алгоритму оптимизации функции преобразования непрерывных величин в дискретные. Функция, используемая в работе, является  $S$ -образной:

$$F(\theta_i(t+1)) = \frac{1}{1 + e^{-\theta_i(t+1)}},$$

где  $\theta_i(t+1)$  – идея на текущей итерации.

Изменение вектора параметров  $S$  происходит следующим образом:

$$S_i(t+1) = \begin{cases} 1, & \text{если } rand(0,1) < F(\theta_i(t+1)), \\ 0, & \text{иначе} \end{cases}$$

где  $rand(0,1)$  – функция, возвращающая случайное число в интервале от 0 до 1.

**Описание алгоритма.** Алгоритм «Мозговой штурм» основан на коллективной деятельности людей, направленной на нахождение решения поставленной задачи [2]. Далее представлены основные шаги алгоритма:

1. Инициализация идей ( $N$ ), оценка их фитнес-функции.

2. Группировка  $N$  идей в  $m$  групп ( $m < N$ ).

3. Выполнение алгоритма оригинального оператора

$$\theta_{select} = \begin{cases} \theta_i + \xi * normrnd(0,1) & \text{– для одной группы;} \\ rand * \theta_{i1} + (1 - rand) * \theta_{i2} + \xi * normrnd(0,1) & \text{– для двух,} \end{cases}$$

где  $\theta_i$ ,  $\theta_{i1}$ ,  $\theta_{i2}$  – выбранные произвольные идеи в группе, в первой группе и второй соответственно;

$$\xi = rand * \exp\left(1 - \frac{\max\_iteration}{\max\_iteration - current\_iteration + 1}\right).$$

$normrnd(0,1)$  – нормально распределенная величина.

4. Создание новой идеи на основе существующей (используя метод нового шага):

$$\theta_{new} = \theta_{select} + \xi * normrnd(0,1).$$

5. Принятие новой идеи, если она лучше существующей:

$$\theta_i = \begin{cases} \theta_{new}, & \text{если } f(\theta_{new}) < f(\theta_i); \\ \theta_i. & \end{cases}$$

6. Повтор шагов для всех идей.

**Результаты.** Анализ эффективности работы алгоритма был выполнен на наборах данных из репозитория KEEL [3].

Эксперимент был проведен по схеме кроссвалидации; доля обучающих данных (tsa) составляла 90%, тестовых (tst) – 10%. В таблице приведен процент правильной классификации при построении нечеткого классификатора на наборах данных, полученных с помощью S-образной функции преобразования.  $F$  – количество признаков до преобразования алгоритмами,  $F'$  – после. tsa – точность алгоритма на обучающей выборке, tst – на тестовой. BBSO – бинарный алгоритм «Мозговой штурм»; RS – алгоритм случайного поиска (Random Search). Генерация структуры классификатора осуществлялась по экстремумам классов.

**Процент правильной классификации**

Набор данных	$F$	BBSO				RS		
		$F'$	tsa	tst	$F'$	tsa	tst	
cleveland	13	<b>6,8</b>	53,74	<b>53,35</b>	7,2	56,95	51,28	
hepatitis	19	9,4	91,26	84,52	<b>8,1</b>	93,20	84,98	
magic	10	3,9	71,36	71,41	3,9	71,39	71,44	
satimage	36	<b>12,3</b>	62,39	62,15	15,8	63,39	62,47	
segment	19	<b>8,36</b>	86,67	84,79	8,8	87,78	85,46	
spambase	57	<b>24,5</b>	69,04	68,36	25,1	70,93	70,74	
texture	40	<b>14,6</b>	66,56	65,77	16	66,85	66,09	

**Заключение.** Из полученных результатов можно сделать вывод, что алгоритм «Мозговой штурм» на выбранных наборах данных оставил меньшее количество признаков, проиграв алгоритму случайного поиска в точности 3,3% на наборе spambase и до 0,8% на остальных наборах. Это говорит о конкурентоспособности алгоритма и возможности использования его для решения подобного рода задач.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Mirjalilin S., Lewis A. S-shaped versus V-shaped transfer functions for binary Particle Swarm Optimization // Swarm and Evolutionary Computation. – 2013. – Vol. 9. – P. 1–14/
2. Cao Z., Hei X., Wang L., Shi Y., Rong X. An Improved Brain Storm Optimization with Differential Evolution Strategy for Applications of ANNs // Mathematical Problems in Engineering. – 2015. – Vol. 2015. – P. 1–18.
3. KEEL-dataset repository [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://keel.es/> (дата обращения: 21.10.2017).

## ВЛИЯНИЕ ТИПОВ ЯДЕРНЫХ ФУНКЦИЙ ПЛОТНОСТИ ДАННЫХ НА ТОЧНОСТЬ СИСТЕМ ТИПА АНГЕЛОВА–ЯГЕРА

**М.О. Светлаков, студент**

*Научный руководитель К.С. Сарин, доцент каф. КИБЭВС, к.т.н.  
г. Томск, ТУСУР, rvvincl@gmail.com*

Нечеткая система типа Ангелова–Ягера [1] способна работать в режиме реального времени, изменяя свою структуру и параметры. Основной структуры системы являются автоматически генерируемые «облака». Функции плотности данных определяют уровни активации правила-облака. В данной работе оценивается точность нечетких систем-аппроксиматоров типа Ангелова–Ягера, работающих в пакетном режиме (оффлайн), с использованием различных ядерных функций активации правил системы.

**Описание нечеткой системы типа Ангелова–Ягера.** Нечеткая система строится на множестве нечетких правил типа «ЕСЛИ-ТО». Согласно публикации [2] в нечеткой системе типа Ангелова–Ягера  $i$ -е правило имеет следующий вид:

$$R_i: \text{ЕСЛИ } (\mathbf{x}_j \sim \text{Cloud}_i) \text{ ТОГДА } (u^i),$$

где  $\mathbf{x}_j$  ( $\mathbf{x}_j = [x_{j1}, \dots, x_{jn}]$ ) – вектор данных на входе в систему;  $i \in [1, N]$  ( $N$  – число правил);  $u^i$  – консеквент правила.

Выход системы  $\hat{y}_j$  для  $j$ -го входа и уровень активации правила  $\lambda_j^i$  определяются следующим образом:

$$\hat{y}_j = \sum_{i=1}^N u^i \times \lambda_j^i, \quad \lambda_j^i = \frac{\gamma_j^i}{\sum_{k=1}^N \gamma_j^k},$$

где  $\gamma_j^i$  – локальная плотность  $i$ -го правила для  $j$ -го входа.

Локальная плотность  $\gamma_j^i$  и глобальная плотность  $\Gamma_j$  определяются следующим образом:

$$\gamma_j^i = K(\sum_{k=1}^{M_i} d_{kj}^i), \quad \Gamma_j = K(\sum_{k=1}^M d_{kj}),$$

где  $K(\bullet)$  – ядерная функция;  $d_{kj}^i$  – расстояние между  $k$ -й точкой облака и  $j$ -й точкой на входе (используется евклидово расстояние);  $M_i$  – количество данных в  $i$ -м облаке ( $M = \sum_i M_i$ ).

Пусть имеется таблица наблюдений  $\{(x_j; y_j), p=1, \dots, m\}$ , критерий качества аппроксимации выражается функцией ошибки:

$$MSE = \frac{1}{m} \times \sum_{p=1}^m (y_p - \hat{y}_p)^2.$$

**Функции плотности данных.** Используется линейная  $K_1$ , полиномиальная  $K_2$ , рационально-квадратическая  $K_3$  ядерной функции [3]:

$$K_1(x_j, \mu_i) = x_j \mu_i^T,$$

$$K_2(x_j, \mu_i) = (x_j \mu_i^T + 1)^2,$$

$$K_3(\sum_{k=1}^M d_{kj}) = 1 - \frac{\sum_{k=1}^M d_{kj}}{1 + \sum_{k=1}^M d_{kj}},$$

$$\sum_{k=1}^M d_{kj} = \|z_j - \mu_{j-1}\|^2 + S_{j-1}^G - \|\mu_j^G\|^2,$$

$$S_j^G = \frac{j-1}{j} S_{j-1}^G + \frac{1}{j} \|z_j\|^2, \quad \mu_j^G = \frac{j-1}{j} \mu_j^G + \frac{1}{j} z_j,$$

где  $\mu_i$  – среднее значение точек  $i$ -го правила,  $z_j = (x_j; y_j)$ ,  $\|x\|$  – евклидова норма,  $S_j^G = \|z_j\|^2$ ,  $\mu_1^G = z_1$ . Для нормализации используется метод косинусной нормализации различных порядков, описанный в статье [4].

**Эксперимент.** Для проверки точности аппроксиматоров использовались данные репозитория Keel ([www.keel.es](http://www.keel.es)). Результаты сравнения работы с аппроксиматором METSK [5] и использования различных ядерных функций приведены в табл. 1 и 2.

**Заключение.** Модифицированная система показывает лучшие результаты при используемых линейной и полиномиальной ядерных функциях, которые менее вычислительно затратны и не требуют хранения дополнительных данных по сравнению с функцией Коши.

Таблица 1

## Сравнение с другим аппроксиматором

Данные	MSE		Функция
	Построенная система	METSK	
treasury	11,284	<b>0,038</b>	Линейная
Ele-1	1,32E-04	<b>1,95E-05</b>	Линейная
mortgage	8,685	<b>0,013</b>	Линейная
puma32h	<b>9,103E-04</b>	0,2871	Полиномиальная
ailérons	<b>1,646E-07</b>	1,51	Линейная

Таблица 2

## Результаты на наборе данных Tic

Функция	MSE			
	Обучающая выборка		Тестовая выборка	
	0-го порядка	1-го порядка	0-го порядка	1-го порядка
Коши	0,059578	–	0,061383	–
Рацион.-квадр.	0,059578		0,061383	
Линейная	<b>0,055786</b>	<b>0,055786</b>	<b>0,057370</b>	<b>0,057370</b>
Полиномиальная	0,056839	0,068297	0,058306	0,070283

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 16-07-00034).

## ЛИТЕРАТУРА

1. Angelov P. Simplified fuzzy rule-based systems using non-parametric antecedents and relative data density / P. Angelov, R. Yager // IEEE Workshop Evol. Adapt. – Intell. Syst. – Paris, IEEE. – 2011. – P. 62–69.
2. Costa B. A practical implementation of self-evolving cloud-based control of pilot plant / B. Costa, I. Skrjanc, S. Blazic, P. Angelov // Cybernetics (CYBCONF), IEEE International conference. – 2013. – P. 7–12.
3. Kernel functions for Machine Learning Applications [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://crsouza.com/2010/03/17/kernel-functions-for-machine-learning-applications> (дата обращения: 24.09.2017).
4. Ah-Pine J. Normalized kernels as similarity indices // Pacific-Asia Conference on Knowledge Discovery and Data Mining. –Berlin, Heidelberg: Springer, 2010. – P. 362–373.
5. Meng X. A new bio-inspired optimization algorithm: Bird Swarm Algorithm / X. Meng, X. Gao, L. Lu, Y. Liu, H. Zhang // Journal of Experimental & Theoretical Artificial Intelligence. – 2016. – Vol. 208, No. 4. – P. 673–687.



## МЕТОД БУСТИНГА ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ НЕЧЕТКИХ КЛАССИФИКАТОРОВ

*С.Н. Аримпилов, С.А. Ворожцов, студенты*

*Научный руководитель К.С. Сарин, доцент каф. КИБЭВС, к.т.н.  
г. Томск, ТУСУР, каф. КИБЭВС и БИС, sks@security.tomsk.ru*

Ансамбли классификаторов широко используются в машинном обучении для формирования моделей классификации [1]. Данные модели позволяют увеличить точность по сравнению с отдельными элементами ансамбля. Алгоритм AdaBoost [2], реализующий метод бустинга, является одним из самых известных и широко применяемых алгоритмов их построения. Целью настоящей работы является построение ансамблей нечетких классификаторов с помощью данного алгоритма и проведение экспериментов классификации на реальных наборах данных.

**Постановки задачи.** На рис. 1 представлена архитектура ансамбля классификаторов, построенных алгоритмом AdaBoost. Ансамбль состоит из множества нечетких классификаторов  $M_1, \dots, M_t$ , имеющих соответствующие веса  $\beta_1, \dots, \beta_t$ . Веса вычисляются алгоритмом построения ансамбля и определяют степень влияния классификатора в общем голосовании.

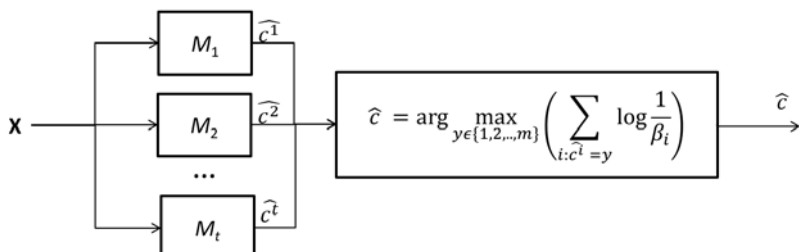


Рис. 1. Архитектура ансамбля нечетких классификаторов

Определение класса экземпляра по входному вектору  $X$  происходит следующим образом. Сначала каждый классификатор композиции определяет класс входного экземпляра. Результирующий класс определяется голосованием с учетом веса каждого классификатора. Формула приведена на рис. 1.

**Алгоритм построения классификаторов ансамбля.** Классификаторы ансамбля строятся последовательно, учитывая ошибки классификации экземпляров обучающих данных предыдущими классификаторами. Если какой-либо экземпляр классифицировался неверно, то следующий классификатор должен «сфокусировать внимание» на

том, чтобы классифицировать его верно. Это делается с помощью механизма весовых коэффициентов экземпляров обучающих данных.

На вход алгоритма подается:  $I$  – алгоритм обучения классификатора;  $T = \{(\mathbf{X}_p, c_p); p = \overline{1, z}\}$  – обучающие данные;  $Iter$  – число итераций (максимальное число классификаторов). На выходе работы алгоритма: множество классификаторов  $\{M_i; i = \overline{1, t}\}$  с весами  $\{\beta_i; i = \overline{1, t}\}$ . В качестве алгоритма обучения классификатора  $I$  в данной работе используется метаэвристика «кукушкин поиск» [4]. Алгоритм построения ансамбля нечетких классификаторов представлен следующими шагами:

*Шаг 1.* Инициализировать веса экземпляров данных  $w_p = 1/z$ , где  $p = \overline{1, z}$ ;  $t = 1$ .

*Шаг 2.* Построить классификатор  $M_t$  алгоритмом  $I$  на  $T$  с целевой функцией  $E_t = \sum_{p: c_p \neq \hat{c}_p} w_p \rightarrow \min$ .

*Шаг 3.* Если  $E_t > 0,5$ , то  $t = t - 1$ , и перейти на шаг 7.

*Шаг 4.* Определить вес классификатора  $\beta_t = \frac{E_t}{(1 - E_t)}$ .

Переопределить веса экземпляров данных:

$$w_p = w_p \cdot \begin{cases} \beta_t, & \text{если } (c_p = \hat{c}_p), \\ 1, & \text{иначе.} \end{cases} \text{ где } p = \overline{1, z}.$$

*Шаг 5.* Нормализовать веса:  $sum = \sum_{p = \overline{1, z}} w_p$ ,  $w_p = \frac{w_p}{sum}$  для всех  $p = \overline{1, z}$ .

*Шаг 6.* Если  $t < Iter$ , то  $t = t + 1$ , и перейти на шаг 2.

*Шаг 7.* Завершить работу с множеством классификаторов  $M_i; i = \overline{1, t}$  и весами  $\{\beta_i; i = \overline{1, t}\}$ .

**Эксперимент.** Построение ансамблей было проведено на реальных данных из репозитория KEEL ([www.keel.es](http://www.keel.es)), которые использовались в работе [4]. Экспериментально определен параметр  $Iter$ . Для этого формировались ансамбли со значениями 3, 5 и 7 этого параметра и определялись точности ансамблей методом 10-кратной кросс-валидации. По результатам экспериментов на рассмотренных наборах данных лучшей точности достигли ансамбли с  $Iter = 5$ .

В таблице показаны результаты точности классификации в сравнении с ансамблями работ [4] и [5]. В колонке *tra* указана точность на обучающих данных, в *tst* – точность на тестовых данных.

### Сравнение точности классификации ансамблей

Наборы данных	Бэггинг [5]		AdaBoost		Ансамбль [4]	
	<i>tra</i>	<i>tst</i>	<i>tra</i>	<i>tst</i>	<i>tra</i>	<i>Tst</i>
Iris	0,987	0,953	1,000	<b>0,96</b>	0,981	0,94
Tae	0,599	<b>0,551</b>	0,633	0,504	0,606	0,525
Wine	0,797	0,798	0,773	0,753	0,993	<b>0,944</b>
Glass	0,639	0,611	0,625	<b>0,614</b>	0,698	0,565
Heart	0,73	0,726	0,726	0,726	0,867	<b>0,830</b>
Cleveland	0,536	0,472	0,543	0,507	0,637	<b>0,547</b>
Newthyroid	0,985	<b>0,968</b>	0,993	0,949	0,969	0,949

**Заключение.** В работе проведено построение ансамблей нечетких классификаторов с помощью алгоритма AdaBoost. Проведены эксперименты на реальных наборах данных. По результатам экспериментов выявлено, что на используемых наборах лучшей точности достигли ансамбли с количеством классификаторов, равным 5. Проведено сравнение точностей классификации с алгоритмом построения ансамблей, представленным в работах [4, 5]. На двух из семи наборов данных точность удалось повысить, а на четырех наборах она понизилась.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 16-07-00034).

### ЛИТЕРАТУРА

1. Rokach L. Ensemble-based classifiers // Artificial Intelligence Review. – 2010. – Vol. 33, Is. 1-2. – P. 1–39.
2. Freund Y., Schapire R.E. Experiments with a new boosting algorithm // Machine learning: proceedings of the thirteenth international conference. – 1996. – P. 325–332.
3. Ходашинский И.А., Минина Д.Ю., Сарин К.С. Идентификация параметров нечетких аппроксиматоров и классификаторов на основе алгоритма «кукушкин поиск» // Автоматрия. – 2015. – Т. 51, №3. – С. 27–34.
4. Сарин К.С., Ворожцов С.А., Аримпилов С.Н. Построение ансамблей нечетких классификаторов на основе метаэвристики «кукушкин поиск» и горной кластеризации // Электронные средства и системы управления: матер. докл. XIII Междунар. науч.-практ. конф. (29 нояб. – 1 дек. 2017 г.): в 2 ч. – Ч. 2. – Томск: В-Спектр, 2017. – С. 26–29.
5. Breiman L. Bagging predictors // Machine Learning. – 1996. – Vol. 24, Is. 2. – P. 123–140.

## РАЗРАБОТКА ИНСТРУМЕНТАРИЯ ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ КОДОВ МЕЖДУНАРОДНОЙ КЛАССИФИКАЦИИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ МЕДИЦИНСКОГО ОБСЛЕДОВАНИЯ ПАЦИЕНТОВ

*Е.А. Звягинцев, студент*

*Научный руководитель И.А. Ходаишинский, проф. каф. КИБЭВС, д.т.н.  
г. Томск, ТУСУР, каф. БИС, 743\_zea@fb.tusur.ru*

По статистическим данным Минздрава России, каждый год от инсульта страдает около полумиллиона человек. Из них полностью восстанавливаются только 13–15%, остальная часть пациентов либо умирает, либо они становятся инвалидами [1]. Медицинская реабилитация играет очень важную роль как в восстановлении функциональных возможностей, так и в возвращении больного в общество. В настоящее время в процессе реабилитации используется мультидисциплинарный подход, что означает лечение пациента группой специалистов, которые проводят обследование больного и его реабилитацию [2].

**Определение цели.** Одним из шагов в процессе реабилитации является определение реабилитационного диагноза больного, т.е. заключение специалиста об утраченных пациентом физических, речевых или же психических функций. В качестве инструмента описания нарушений функциональных возможностей больного используется международная классификация функционирования. Использование МКФ позволяет получить чёткое представление о функциональных нарушениях больного и внешних факторах, не связанных со здоровьем, которые могут повлиять на процесс реабилитации [3]. Целью данной работы является создание программного модуля, осуществляющего перевод данных медицинских обследований пациента в коды МКФ, что позволит повысить качество труда врачей. Применение такого подхода облегчит работу каждого врача мультидисциплинарной бригады (МДБ), занимающегося реабилитацией пациента.

Были поставлены следующие задачи:

- отбор данных медицинских обследований, на основе которых можно оценить реабилитационный потенциал больного;
- определение алгоритма перевода данных медицинских обследований пациента в коды МКФ;
- создание программного модуля, реализующего перевод данных медицинских обследований в коды МКФ.

**Используемые данные.** В качестве исходных данных использовались клинические данные о пациентах, прошедших реабилитацию в ФГУ Томского НИИ курортологии и физиотерапии ФМБА России. Количество пациентов – 371 человек, количество признаков – 228.

**Отбор признаков.** Отбор признаков производился с помощью следующих алгоритмов оптимизации: жадный алгоритм +, жадный алгоритм –, алгоритм обезьян. Результаты можно увидеть в табл. 1.

Таблица 1

<b>Результаты отбора параметров</b>			
	Жадный +	Жадный –	Алгоритм обезьян
Количество отобранных признаков	8	26	17
Ошибка классификатора, %	8,63	10,51	11,59

**Построение нечёткого классификатора.** С целью осуществления перевода данных медицинских обследований в МКФ было решено использовать нечёткий классификатор, поскольку данный инструмент позволяет автоматизировать классификацию объектов по их нечетким параметрам, в данном случае по отобранным признакам. Для увеличения точности классификации был использован генетический алгоритм оптимизации.

С целью настройки коэффициентов функции принадлежности нечёткого классификатора был создан программный модуль, реализующий настройку коэффициентов с помощью выбранного алгоритма оптимизации.

Таким образом, алгоритм получения кодов МКФ из данных медицинских обследований представляет собой процесс классификации с использованием нечёткого классификатора, настроенного с помощью алгоритма оптимизации, на основе наиболее информативных признаков – отобранных параметров.

**Тестирование.** Для оценки эффективности нечеткого классификатора, настроенного реализованным алгоритмом, были проведены тесты на наборах данных iris – определение типа цветка по размеру чашелистика и лепестка, bupa – определение алкоголизма у человека по количеству потребляемого алкоголя, wine – определение сорта вина по результату химического анализа, newthyroid – определение болезни щитовидной железы по химическим составляющим. Данные были взяты из репозитория KEEL. Результаты приведены в табл. 2.

Таблица 2

Выборка	<b>Ошибки настроенного классификатора на тестовых наборах</b>			
	До оптимизации (% ошибки)		После оптимизации (% ошибки)	
	Обучающая	Тестовая	Обучающая	Тестовая
iris	6,00	6,67	3,83	5,07
bupa	50,80	52,17	40,22	42,90
wine	10,54	10,68	8,01	9,23
newthyroid	3,26	4,65	3,05	4,65

Полученный результат показывает, что реализованный алгоритм оптимизации позволяет повысить точность нечёткого классификатора, а значит, его можно использовать для настройки классификатора при переводе данных медицинских обследований в МКФ. Результаты оценки ошибки классификатора при использовании реализованного алгоритма оптимизации при классификации данных медицинских обследований приведены в табл. 3. Однако ввиду недостаточности данных классификация происходила по 3 классам, характеризующим степень нарушения функционирования по одному домену МКФ, который отвечает функционированию вегетативной нервной системы.

Таблица 3

**Ошибки настроенного классификатора на данных обследований**

До оптимизации (% ошибки)		После оптимизации (% ошибки)	
Обучающая выборка	Тестовая выборка	Обучающая выборка	Тестовая выборка
64,53	64	39,93	41,07

**Заключение.** Полученная точность является приемлемой для получения определителя одного домена МКФ. Для перевода данных медицинских обследований в коды МКФ необходима база с большим количеством пациентов и с большим количеством признаков, поскольку имеющихся данных недостаточно для получения приемлемых результатов.

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Альманах медицинских событий [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://medalmanah.ru/> (дата обращения: 15.09.2017).
2. Ковальчук В.В., Скоромец А.А. Основные принципы и результаты деятельности мультидисциплинарной бригады при восстановительном лечении пациентов, перенесших инсульт, на примере опыта работы Центра неврологической реабилитации // Неврологический вестник. – 2007. – № 4. – С. 5–9.
3. Международная классификация функционирования, ограничений жизнедеятельности и здоровья (краткая версия) / под ред. Г.Д. Шостка, М.В. Коробова, А.В. Шаброва. – СПб.: СПбИУВЭК, 2003. – 228 с.
4. Ходашинский И.А., Горбунов И.В. Построение нечетких классификаторов на основе алгоритма пчелиной колонии // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2012. – № 10. – С. 15–20.

## ПОДСЕКЦИЯ 3.7

### МОЛОДЕЖНЫЕ ИННОВАЦИОННЫЕ НАУЧНЫЕ И НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ ПРОЕКТЫ

*Председатель – Дробот П.Н., доцент каф. УИ, к.ф.-м.н.;*  
*зам. председателя – Нариманова Г.Н., доцент каф. УИ, к.ф.-м.н.*

#### АНАЛИТИЧЕСКИЙ МЕТОД ВЫЯВЛЕНИЯ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ГРУППЫ ЛЮДЕЙ В СЕТИ ИНТЕРНЕТ

*А.С. Гончаров, магистрант; В.М. Саклаков, аспирант*

*Научный руководитель М.А. Иванов, к.т.н.*

*г. Томск, ОИТ, НИ ТПУ, ags@tpu.ru, romanov\_ky@mail.ru*

Любая коммуникация отдельных людей и групп между собой имеет своей целью получение желаемого результата путем воздействия друг на друга. В некоторых источниках [1] такое воздействие называется манипуляцией, однако отмечается, что таковая не обязательно может быть направлена во вред субъекту воздействия. *Объектом анализа* настоящей работы является процесс коммуникации человека и (или) групп людей. Для того чтобы исследование имело опору на эмпирические данные, необходимо задать целевое ограничение: *предметом анализа* является коммуникация человека и (или) групп людей в популярных социальных сетях. В рамках данной работы для сбора информации о пользователях и их публикаций была выбрана социальная сеть для публичного обмена сообщениями при помощи веб-интерфейса «Twitter».

**Актуальность.** В процессе коммуникации в сети объект и субъект воздействия обмениваются сообщениями. Результатом такого обмена становится их действие или бездействие в рамках данного воздействия. При этом по завершении коммуникации процесс воздействия на субъект может продолжаться через тот же или другой объект воздействия. Проблемная ситуация заключается в отсутствии комплексного инструмента сбора и анализа данных, позволяющего автоматизировать процесс выявления и прогнозирования такого воздействия на различных уровнях. Такой инструмент необходимо разработать как междисциплинарный – на стыке экономики, социологии,

психологии и информатики. В работах других авторов большое внимание уделяется созданию частных инструментов для бизнеса [2], власти [3] и др. Анализ большого объема данных позволяет собирать, обобщать и обрабатывать статистику сообщений в социальных сетях.

Целью работы на данном этапе является:

1. Разработка комплексной методики выявления массового воздействия на человека и группы людей в сети Интернет (преимущественно в социальных сетях).

2. Разработка программного обеспечения, сбора, обобщения и обработки информации, позволяющая в автоматизированном режиме выявлять воздействие на человека и социальные группы и давать оценку его эффективности.

Для достижения целей, сформулированных подобным образом, необходимо решить следующие задачи:

1. Обзор и кластеризация наиболее востребованных тем в различных социальных сетях.

2. Классификация объектов и субъектов воздействия в сети Интернет.

3. Классификация методов воздействия и реакции на воздействие в сети Интернет через социально-экономические функции и процессы.

4. Методика анализа связи между объектами в общественном сознании.

5. Программная реализация вышеперечисленных пунктов (сбор, хранение, визуализация, автоматизированный анализ).

Данный комплекс целей и задач имеет системный характер и будет достигаться поэтапно. В рамках настоящей работы были частично реализованы задачи обзора наиболее востребованных тем и программная реализация сбора данных их социальной сети Twitter.

**Прототип программного решения для сбора данных.** На данном этапе для анализа была выбрана одна из актуальных тем – жилищно-коммунальное хозяйство. Для него был создан программный код, благодаря которому было получено 147 сообщений «tweet» для дальнейшего анализа:

```
query = twitter.search.tweets(q="ЖКХ", count=150)
for result in query["statuses"]:
    print("(%s) @%s %s" % (result["created_at"], result["user"]["screen_name"], result["text"]))
```

*Фрагменты результата работы кода:*

(Wed Mar 07 05:51:38 +0000 2018) @Alsuzaripovaar. В рабочем порядке постараемся помочь, но для проверки будьте добры обращаться в ГЖИ на Льва Толстого, 123, или через ГИС ЖКХ; Likes: 173.



(Wed Mar 07 05:50:02 +0000 2018) Граница у входа. Кто и за что отвечает в коммунальной отрасли [#ЖКХ](https://t.co/KHXG93FfPp) #жилищные новости #жкх контроль <https://t.co/jSU93ALm8N>; Likes: 0.

На втором этапе все 147 сообщений были экспортированы в Excel и вручную обобщены до 17 смысловых значений (рис. 1). На рисунке четко виден тренд данной тематики: связанность негативного восприятия ЖКХ населением и негативная оценка власти. Также наблюдается полное отсутствие диалога в данной области в социальных сетях; превалирует лишь взаимная критика. Остальные темы являются малоактуальными для пользователей.

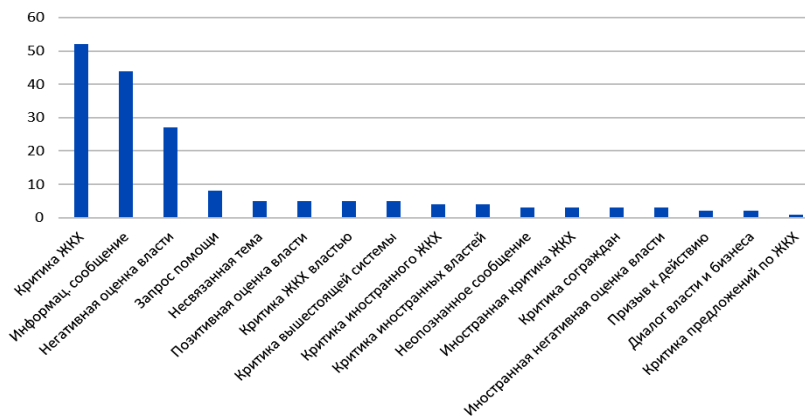


Рис. 1. Обзор и анализ наиболее востребованных тем

**Вывод.** Первичные результаты анализа данных показывают востребованность и актуальность данной тематики. С одной стороны, можно утверждать, что в данном (частном) случае проблемы ЖКХ известны, однако без обработки большого объема данных непонятен масштаб явления, его пропорции, а значит, и методы работы с ним. В случае с анализом публикаций на тему ЖКХ в Twitter авторы высказывают гипотезу: целенаправленно в общественном сознании создается связь между проблемами, существующими в секторе жилищно-коммунального хозяйства и действиями российских национальных властей. Сбор и обработка информации на большей выборке (около 3500 сообщений «tweet») показывает неизменность данного тренда.

В условиях кризиса избытка информации создание надстройки в виде инструмента выявления воздействия на человека и группы людей позволит решать данные задачи. В дальнейшем планируется расширить функционал приложения в соответствии с целями и задачами,

описанными выше. Графическая визуализация, необходимая для наглядности при анализе данных, будет реализована в виде графа связей обобщенных тем.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Гагин Т.В. Голая правда о слепой вере. Сеанс бытовой магии с разоблачением / Т.В. Гагин, С.С. Бородина. – М.: Дрофа-Плюс, 2005. – 448 с.

2. Джамак П. Бизнес-анализ больших данных [Электронный ресурс]. – Официальный сайт IBM. – URL: <https://www.ibm.com/developerworks/ru/library/ba-big-data-bi/index.html> (дата обращения: 21.02.2018).

3. Единая межведомственная информационно-статистическая система (ЕМИСС). – URL: <https://www.fedstat.ru> (дата обращения: 21.02.2018).

### АЛГОРИТМ УПРАВЛЕНИЯ АВТОМАТИЧЕСКОЙ НАСОСНОЙ СТАНЦИЕЙ В УСЛОВИЯХ ОГРАНИЧЕННОСТИ ИНФОРМАЦИИ

*В.М. Макарова, А.Е. Хальметов, студенты*

*Научный руководитель П.Г. Нестеренко, вед. спец. ООО «ЭлеТим»  
г. Томск, ТУСУР, каф. УИ, victoria.makarova.96@bk.ru,  
mr.khalmetov@inbox.ru*

По структуре управления технические системы делятся на ручные, автоматизированные и автоматические. Работа ручной системы подразумевает формирование управляющих команд человеком-оператором. Функции управления в автоматизированных системах распределены между человеком, в конечном итоге принимающим решение, и управляющим устройством. В автоматических системах процессы управления реализуются без непосредственного участия человека [1]. Примеры автоматических систем управления: автоматическая стиральная машина; управляемые комплексы летательных аппаратов, включающие в свой состав системы автоматического управления двигателя; рулевые механизмы, автопилоты и навигационные системы [2].

На сегодняшний день разработка автоматических систем управления востребована в целях устранения человеческого фактора и повышения надёжности систем.

Целью работы является реализация автоматической системы управления насосной станцией, реализованной на базе контроллера «Элсима М01-48Р», предоставленного компанией ООО «ЭлеТим».

Из-за ограниченного бюджета основной проблемой создания небольших систем автоматизации является нехватка информации для адекватного определения состояния всей системы и принятия реше-

ния. Проблему недостаточности информации можно решить за счёт использования различных косвенных показаний – данных, полученных при помощи элементов системы. В нашем случае для этого используются датчики определения уровня воды/давления/температуры и электросчётчик.

Объектом автоматизации является система подачи воды, состоящая из резервуара для хранения воды (включающего два поплавковых датчика определения уровня воды), двух насосов, а также датчика давления (преобразователя) и датчика температуры, регистрирующего температуру внешней среды. Структурная схема системы представлена на рис. 1.

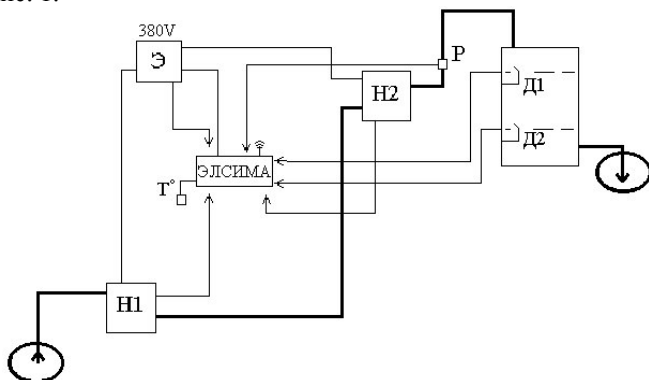


Рис. 1. Структурная схема насосной станции

Датчик давления фиксирует давление воды между вторым насосом и резервуаром для хранения воды.

Датчик температуры необходим для прекращения работы системы в случае заморозков в целях обеспечения целостности трубы.

Электросчётчик в данной системе является источником получения косвенной информации. С помощью электросчётчика происходит измерение потребляемой мощности. При низком потреблении тока возможна работа насоса вхолостую. При высоком потреблении – высокое давление в трубе, что может привести к повреждениям.

В системе имеется три канала связи с пользователем:

- Подсистема визуализации, включающая в себя пять индикаторов разных цветов (три – под состояния системы, два – под состояния датчиков уровня) и кнопки ручного управления системой с панели (старт/стоп).

- Подсистема управления GSM-модулем, обеспечивающая пользователю управление системой посредством SMS-команд и получение ответных уведомлений о работе системы.

– Подсистема управления Wi-Fi-модулем, открывающая доступ к web-серверу, с помощью которого так же осуществляется контроль над работой системы.

Система производит автоматическое включение и отключение насосов системы подачи воды, осуществляет контроль над работой каждого из элементов системы, своевременно сообщает об ошибках в работе и авариях, указывает возможную причину неисправности: пробойна в трубе, поломка двигателя насоса, сухой ход насосов, повреждение датчиков уровня воды.

Для решения задачи автоматического управления была использована система нечеткого вывода, так как этот метод позволяет получить алгоритм нечетких заключений на основе косвенных показаний. В данной автоматической системе был выбран алгоритм Мамдани, так как формально особенности формирования базы правил совпадают с рассмотренными выше при описании данного типа [3].

Примеры формирования базы правил нечеткого вывода:

«ЕСЛИ при включении насосов не происходит наполнение резервуара, ТО возможно повреждение на одном из отрезков трубопровода или отсутствие воды в источнике».

«ЕСЛИ показания температуры внешней среды выше 35 градусов в течение месяца, ТО с вероятностью 50% пересохнет источник воды или вода в трубопроводе будет отсутствовать на отрезке от Н1 до Н2, что приведет к сухому ходу Н1».

«ЕСЛИ показания температуры внешней среды ниже 0 градусов в течение восьми часов, ТО возможно произойдет замерзание воды в трубах, что приведет к разрыву трубы».

Таким образом, разработана и представлена схема-алгоритм управления автоматической насосной станцией в условиях ограниченности информации. Созданный алгоритм позволяет снизить издержки на обслуживание системы подачи воды, включающие в себя заработную плату персонала и затраты в случае своевременно нераспознанных аварийных ситуаций.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Шандров Б.В. Технические средства автоматизации: учеб. для вузов. – М.: Изд. центр «Академия», 2007. – 358 с.
2. Примеры систем автоматического управления [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://studopedia.ru/3\\_58343\\_primeri-sistem-avtomaticheskogo-upravleniya.html](https://studopedia.ru/3_58343_primeri-sistem-avtomaticheskogo-upravleniya.html) (дата обращения: 19.02.2018).
3. Леоненков А.В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH. – СПб.: БХВ-Петербург, 2003. – 736 с.

## РАЗРАБОТКА МОДУЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ДОМОФОННОЙ СИСТЕМОЙ ПО МОБИЛЬНОЙ СЕТИ

*А.А. Мышанский, студент*

*Научный руководитель Е.С. Шандаров, зав. ЛРИИ  
г. Томск, ТУСУР, каф. ЭП, myshanskii.aleks@gmail.com*

Ввиду широкого распространения смартфонов появилась возможность централизовать в них управление широким спектром устройств. Классические представители систем с данным функционалом это «умный дом», системы видеонаблюдения, теплицы и т.д. Ввиду этого была предложена идея дополнения домофонной системы дополнительным средством идентификации и управления через мобильные сети.

**Цель работы** – создание дополнения домофонной системы для управления через мобильные сети.

После детального изучения всей задачи были выделены следующие подзадачи для создания такого модуля:

- Выбор устройства для взаимодействия с мобильной сетью.
- Выбор контроллера с необходимой периферией и скоростью работы.
- Написание программной части для взаимодействия контроллера и модуля взаимодействия с сетью.

**Модуль взаимодействия с сетью.** В качестве устройства, взаимодействующего с мобильными сетями, был выбран GSM-модем SIM800C. Данный модем имеет следующие характеристики:

- Работа в сетях 850/900/1800/1900 МГц.
- Наличие Bluetooth 3.0.
- Интерфейсы: SIM карта 3/1.8 В, USART x2.
- Встроенные аудиокодеки.
- Встроенная поддержка голосовых вызовов.
- Приём/отправка SMS в текстовом и PDU-режимах.
- Рабочий диапазон температур от –40 до 80 °С.

В качестве головного устройства всей домофонной системы был выбран микроконтроллер STM32F407 с тактовой частотой 168 МГц, имеющий 1 кб флэш-памяти и 192 Кб оперативной памяти, а также 100 портов ввода вывода и все необходимые интерфейсы (USART, SPI, SDIO). Также данный контроллер имеет модуль ПДП (DMA, прямой доступ к памяти), что позволяет не беспокоиться о потере принимаемых данных, а также не загружать основной процессор операциями приёма/передачи.

**Реализация.** Для соединения контроллера и GSM-модема использовался USART со стандартом RS-232. Также использовались два порта ввода-вывода для управления питанием модема и проверки состояния готовности к работе. Общение с GSM-модемом происходило в виде текстовых команд (AT команды), а также модуль посылал различного рода уведомления о новых вызовах и SMS.

Приём сообщений от модема был затруднён тем, что длина сообщения от модуля была заранее неизвестна, данная проблема была решена использованием буфера ПДП в циркулярном режиме. В данном режиме не происходит остановка приёма после достижения конца выделенной под буфер памяти, после переполнения данные начинают записываться в начало буфера. Для отслеживания поступления новых данных, а также их количества запоминалось текущее состояние счётного регистра NDTR хранящего количество оставшихся байт до конца буфера (далее – tail). По формуле (1) рассчитывалось количество новых байт данных:

$$RxSize = (BufSize + head - tail) \bmod BufSize, \quad (1)$$

RxSize – общий размер буфера для приёма данных; head – значение в счётном регистре NDTR; tail – запомненное предыдущее значение регистра NDTR; mod – операция получения остатка от деления.

Формула (1) позволяет получать количество новых данных даже при переполнении буфера, и записи части данных в начало буфера. Наличие новых данных проверяется раз в 10 мс, при обнаружении новых данных происходит копирование данных из буфера обмена функцией работы с памятью тетсру для последующей обработки, также обновление tail. Передача данных GSM-модему также происходит с использованием DMA-буфера при помощи стандартных функций библиотеки HAL.

Для последующей обработки полученных данных был написан парсер, производящий поиск типа полученного сообщения (DTMF-команда, звонок, SMS-сообщение, событие модема). После идентификации сообщения модема как SMS либо звонок, при помощи функции поиска подстроки в строке strstr производится поиск номера телефона для идентификации пользователя. Если тип сообщения определён как SMS, происходил поиск номера для идентификации пользователя; также происходило выделение части уведомления, содержащего текст сообщения в ASCII. Выделение текста сообщения на русском языке на данный момент не реализовано ввиду сложности его интерпретации. Сообщение на русском языке приходит в виде символов, обозначающих значения байтов в шестнадцатеричной системе в кодировке Unicode.

Для создания прототипа устройства были использованы отладочные платы SIM800 и STM32F4Discovery.

**Заключение.** В результате работы был сделан выбор аппаратных средств реализации проекта, разработано программное обеспечение, собран прототип устройства. Прототип был протестирован в лаборатории робототехники и искусственного интеллекта ТУСУРа. Во время тестирования была выявлена проблема фрагментации памяти при долгой работе.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. SIM800C Hardware design V1.02 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://www.elecrow.com/download/SIM800C\\_Hardware\\_Design\\_V1.02.pdf](https://www.elecrow.com/download/SIM800C_Hardware_Design_V1.02.pdf) (дата обращения: 12.02.2018).
2. STM32F405xx, STM32F407xx Datasheet [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.st.com/resource/en/datasheet/dm00037051.pdf> (дата обращения: 12.02.2018).
3. STM32F4 Reference Manual [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.st.com/resource/en/reference\\_manual/dm00031020.pdf](http://www.st.com/resource/en/reference_manual/dm00031020.pdf) (дата обращения: 12.02.2018).

### ГИБРИДНОЕ УСТРОЙСТВО УПРАВЛЕНИЯ БЫТОВЫМИ ПРИБОРАМИ НА БАЗЕ GSM- И WIFI-ТЕХНОЛОГИЙ

*Г.К. Ноздрин, А.С. Сарсенбаев, студенты*

*Научный руководитель П.Г. Нестеренко, вед. спец. ООО «ЭлеТим»*

*г. Томск, ТУСУР, каф. УИ, [georgiynozdrin@gmail.com](mailto:georgiynozdrin@gmail.com),*

*[sarasenbaev93@mail.ru](mailto:sarasenbaev93@mail.ru)*

Современный рынок техники переполнен всевозможными умными устройствами от напольных весов, способных проанализировать физическое состояние организма, до автомобилей с автоматизированным управлением. Обилие умной техники обуславливается большим спросом, ведь каждый хочет обособиться от ежедневных рутинных занятий, поддерживать чистоту в доме, не растрачивая драгоценное время, экономить электроэнергию или по дороге на работу не задаваться вопросом – «Не забыл ли я выключить утюг?». Существуют решения, позволяющие автоматизировать или контролировать системы с ручным управлением. Такими решениями являются умные розетки, переходники и контроллеры, использующие Wi-Fi- или GSM-технологии, обеспечивающие автоматическую или автоматизированную работу, беспроводной контроль и мониторинг состояния подключенного оборудования.

Проблема умных розеток, переходников и контроллеров, представленных на рынке, заключается в недостатке универсальности, поскольку используют лишь одну технологию передачи данных, что ущемляет область применения таких устройств. Существуют ситуации, при которых одну из технологий использовать нецелесообразно, например, использование Wi-Fi-технологии для обмена данными затруднительно при нестабильном соединении с беспроводной локальной сетью вследствие слабого сигнала или помех. В то же время для использования GSM-технологии необходимо своевременно оплачивать услуги, предоставляемые оператором установленной в устройство сим-карты. Для решения проблемы и обеспечения максимальной работоспособности в различных условиях идет процесс разработки переходника с гибридной технологией передачи данных.

Сформируем общие требования к устройству. Согласно государственному стандарту сетевое напряжение в России составляет  $230\text{В} \pm 10\%$  [1], за допустимый ток примем 10 А. Исходя из этого, первое требование – допустимая суммарная мощность подключаемых к устройству приборов не должна превышать 2400 Вт. Для обеспечения безопасности переходник должен содержать защиту от резкого перепада напряжения, поражения электротоком и системы контроля доступа.

Для безопасности при нагрузке в 2400 Вт минимальное сечение токопроводящего провода составляет  $1,5\text{ мм}^2$ .

Система безопасности реализована программно. Доступ разрешается авторизованным номерам, которые хранятся во Flash-памяти STM32. Web-интерфейс содержит форму авторизации.

Принцип работы отображен на функциональной схеме (рис. 1).

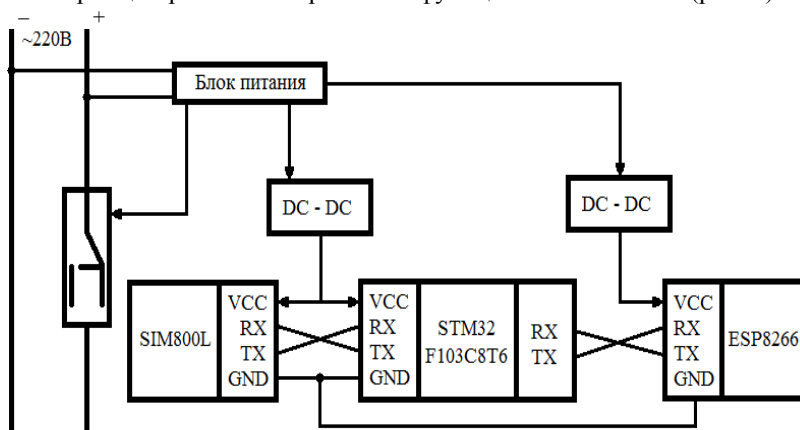


Рис. 1. Функциональная схема



Управление и обработка данных осуществляются микроконтроллером компании STMicroelectronics – STM32F103. Данный контроллер выполнен на базе ядра ARM 32 Cortex-M3, поддерживает последовательный интерфейс передачи данных UART, имеет 64 Кб flash-памяти и размеры 53×22 мм. Данные характеристики позволяют осуществить коммуникации с GSM- и Wi-Fi-модулями, хранить данные о пользователе и заданном алгоритме работы, небольшие габариты обеспечивают компактность конечного продукта.

Пользователь может управлять устройством, отправляя команды и получая уведомления о результате выполнения в виде СМС-сообщений. Для этого использован GSM-модуль на основе компонента SIM800L, разработанного компанией SIMCom Wireless Solutions, интерфейс которого предоставляет доступ к GSM-сетям для приёма и передачи СМС-сообщений. Имеет встроенную антенну и возможность подключения внешней. Поддерживает последовательный интерфейс передачи данных UART.

Wi-Fi-модуль позволит реализовать взаимодействие с устройством через веб-интерфейс. Выбран модуль на базе ESP8266 с поддержкой IEEE 802.11 b/g/n, последовательного интерфейса передачи данных UART и режимах работы STA, AP и STA+AP.

Объединив управление по GSM- и WI-FI-каналу, устройство становится более универсальным и практичным. Организована система безопасности для разграничения прав доступа к устройству. Описав требования, основные параметры и функции компонентов системы сформировано представление о конечном продукте и его назначении, предоставлена функциональная схема, поясняющая принцип работы устройства.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ 29322–2014. Напряжения стандартные. – Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 2015. – 14 с.

## **ПОДСЕКЦИЯ 3.8**

### **РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ**

*Председатель – **Гордиевских В.В.**, ген. директор  
ООО «СибирьСофтПроект»;  
зам. председателя – **Зариковская Н.В.**, доцент каф. ЭМИС, к.ф.-м.н.*

#### **РАЗРАБОТКА КОМПЬЮТЕРНОЙ ПРОГРАММЫ ДЛЯ ТРЕНИНГА ПЕРСОНАЛА НЕФТЕПЕРЕРАБАТЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЙ**

***И.А. Богданов, А.А. Алтынов, магистранты**  
Научный руководитель **И.М. Долганов**, доцент ОХИ, к.т.н.  
г. Томск, НИТПУ, ОХИ, [bogdanov\\_ilya@mail.ru](mailto:bogdanov_ilya@mail.ru)*

Производство бензинов является одним из главных направлений в нефтеперерабатывающей промышленности Российской Федерации, в значительной мере определяющим развитие этой отрасли.

В настоящий момент каталитический риформинг является наиболее распространенным и дешевым способом получения компонентов высокооктановых бензинов.

Для работы со сложным технологическим процессом каталитического риформинга требуется специально обученный, квалифицированный персонал, на который ложится большая ответственность за последствия принятых решений по управлению процессом [1]. Поэтому тренинг персонала с использованием современных компьютерных программ является актуальной задачей.

На основе технологических регламентов работы установок каталитического риформинга была создана база данных в среде MS Office Access. Созданная база данных содержит в себе информацию об отклонениях от технологического режима, возможных причинах отклонений от технологического режима и действиях персонала по устранению отклонений от технологического режима.

Далее с помощью возможностей программной среды Delphi 7 (работа с базами данных, графическое оформление) была создана программа (компьютерный тренажер) для тренинга персонала нефтеперерабатывающих заводов. Диалоговое окно разработанной про-

граммы приведено на рис. 1. Ниже описан процесс работы с программой.

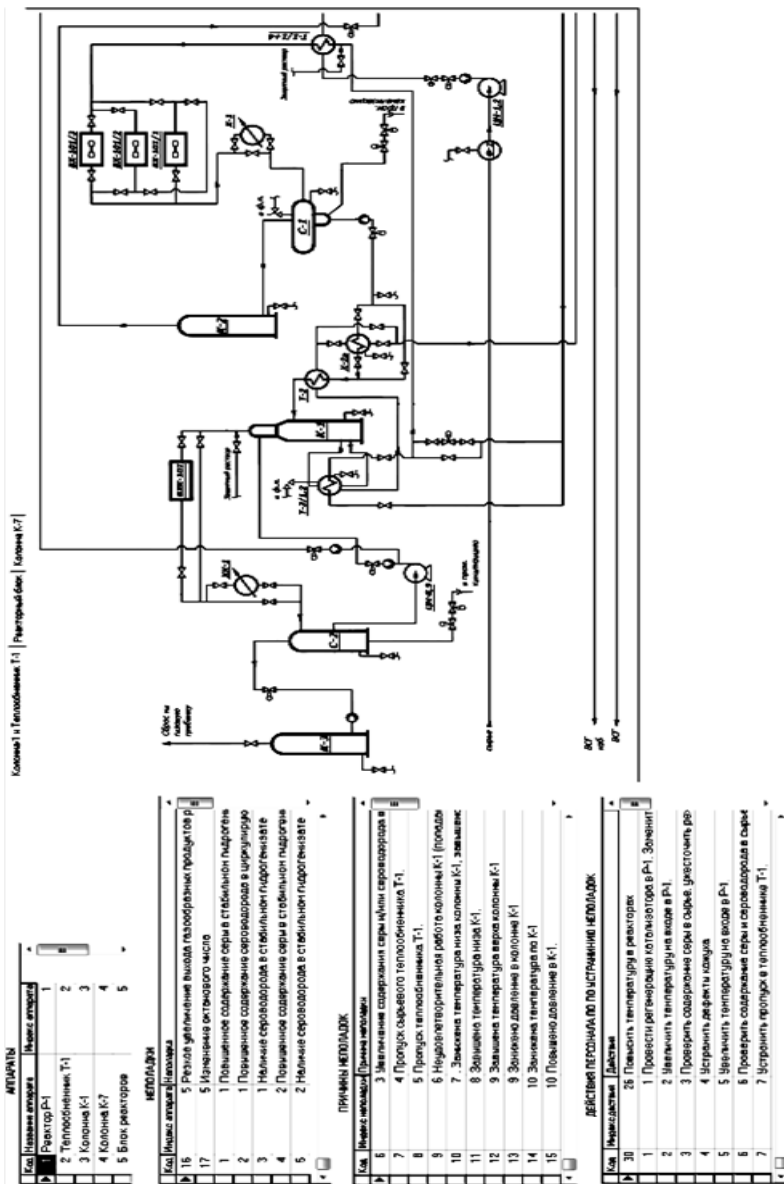


Рис. 1. Диалоговое окно разработанного компьютерного тренажера

После запуска программы пользователю необходимо выбрать нажатием мыши на технологической схеме интересующий аппарат. После выбора аппарата в таблице программы «Аппараты» исчезнут все аппараты, кроме выбранного пользователем аппарата.

Далее пользователю необходимо выбрать нажатием мыши название выбранного аппарата в таблице «Аппараты», после чего в таблице «Неполадки» высветятся все неполадки, которые могут возникнуть с выбранным аппаратом. Далее в таблице «неполадки» пользователь выбирает интересующую его неполадку и выбирает ее нажатием мыши, после чего в таблице «Причины неполадок» высвечиваются возможные причины возникновения выбранной неполадки. Последним действием пользователь анализирует возможные причины неполадок из таблицы «Причины неполадок», аналогично нажатием мыши выбирает одну из причин, и в таблице «Действия персонала по устранению неполадок» высвечиваются рекомендации для персонала по устранению возникшей в работе аппарата неполадки.

Использование разработанной программы в качестве компьютерного тренажера позволяет решить следующие проблемы:

– проблему обновления кадров и повышения квалификации персонала, так как тренажеры направлены на людей с различным типом восприятия информации;

– проблему улучшения знаний, навыков и компетенций персонала.

Также применение программы-тренажера позволяет повысить скорость реагирования персонала технологических установок при обнаружении неисправностей и внештатных ситуаций.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Управление информационными ресурсами образовательных, научных и производственных организаций: сб. матер. Всерос. науч. школы для молодежи 18–25 октября 2009 г. / под общ. ред. В.П. Семенова, З.М. Уметбаева, Г.Н. Чусавитиной, Л.З. Давлеткиреевой. – Магнитогорск: МаГУ, 2009. – 270 с.

### **РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ЗОНДОВЫХ ИЗМЕРЕНИЙ СВЧ-МИС**

*Д.П. Аргунов, магистрант*

*Научный руководитель А.В. Безрук, нач. измерительного уч.*

*отд. 4 АО «НИИПП»*

*г. Томск, ТУСУР, каф. ФЭ, [iftgs@yandex.ru](mailto:iftgs@yandex.ru)*

Зондовые измерения являются основным методом контроля электрических параметров монолитных интегральных схем (МИС) на пла-

стине и кристалле перед монтажом их в корпус [1]. Технология контроля параметров МИС сводится к поочередному контактированию зондами к специальным контактными площадкам в топологии МИС и измерению параметров с помощью средств измерения. Для выполнения процедуры контактирования зондов с МИС применяются зондовые станции. Полуавтоматические зондовые станции оснащаются моторизованными предметными столиками, имеющими четыре степени свободы ( $x$  и  $y$  – линейное перемещение в горизонтальной плоскости;  $z$  – подъем и опускание предметного столика;  $\theta$  – поворот вокруг оси  $z$ ).

Для решения задачи автоматизации процесса зондовых измерений на полупроводниковых пластинах существует ряд программных продуктов, разработанных ведущими поставщиками зондовых станций, такими как Cascade Microtech (программы Nucleus и Velox) и MPI-Corporation (программа MPI Sentio). Обозначенные программные продукты предоставляют возможность управления аппаратным оснащением зондовых станций с помощью интегрированного промышленного компьютера. Также данные программы имеют некоторый базовый функционал, необходимый для выполнения автоматизированных зондовых измерений (выполнение команд внешних программ и перемещение по заданной последовательности координат). Однако для комплексного решения прикладных задач автоматизации измерительных процессов в целях межоперационного и выходного контроля, в условиях отечественного производства СВЧ-МИС, функционала данных программных продуктов оказалось недостаточно.

Для выполнения автоматизированных зондовых измерений прежде всего необходимо правильно задать места контактирования зондов с полупроводниковой пластиной. Для этих целей создается так называемая карта пластины, которая содержит данные с координатами позиций, в которых необходимо провести измерения.

На основе карты пластины, созданной в специальном программном модуле, описанном в [2], создается файл измерительного проекта пластины (далее – проект пластины). Проект пластины содержит идентификационные данные пластины, номер сопроводительного листа, список и конфигурацию необходимых измерений, а также карту пластины, учитывающую при необходимости особенности конкретной пластины (к примеру, пластина в ходе производства была разделена на несколько частей для проведения серии экспериментов, карта также может быть разделена на отдельные части).

Для проведения автоматизированных зондовых измерений электрических параметров была разработана программа, обеспечивающая

взаимодействие с аппаратной частью зондовой станции и различными измерительными приборами. При проведении зондовых измерений используется зондовая станция Summit12000 компании Cascade Microtech, управление зондовой станцией осуществляется путем отправки команд программному обеспечению зондовой станции посредством протокола межпроцессного взаимодействия DDE.

Для подключения к программе измерительного оборудования была разработана подсистема динамически подключаемых библиотек DLL, содержащих подпрограммы, реализующие работу с конкретным оборудованием, посредством различных интерфейсов передачи данных (RS-232, Ethernet, USB). DLL-библиотеки, обеспечивающие взаимодействие с оборудованием, реализуют унифицированные программные интерфейсы, разделяющие приборы на несколько базовых типов, таких как источники-измерители, векторные анализаторы цепей и исполнительные устройства. Данный подход позволяет легко расширять спектр поддерживаемых приборов, а также использовать аналогичные приборы различных моделей, производителей для выполнения измерений без измерения подпрограммы измерений.

Для выполнения автоматизированных зондовых измерений различных полупроводниковых приборов и схем на пластине была разработана подсистема динамически подключаемых библиотек, содержащих алгоритмы выполнения измерений по определенным методикам. На рис. 1 представлен общий вид интерфейса программы автоматизированных зондовых измерений.

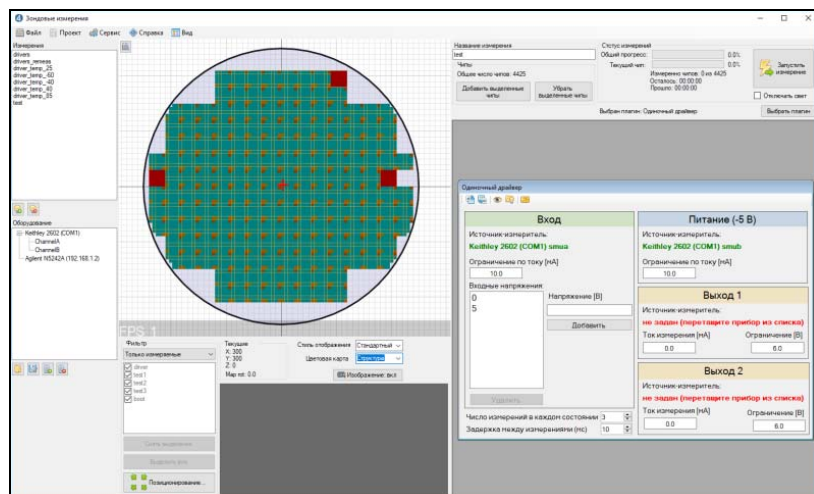


Рис. 1. Общий вид пользовательского интерфейса приложения

Библиотека измерительного модуля содержит класс, реализующий программный интерфейс измерительной методики, интерфейс содержит методы предварительной конфигурации оборудования и выполнения одиночного измерительного цикла. Также библиотека имеет методы, позволяющие получить её идентификационные данные и хеш-сумму исполняемого кода, для верификации метрологически значимых измерительных модулей, независимо от программы в целом.

Визуализация карты пластины выполняется с применением библиотеки OpenGL [3], благодаря чему достигается высокая производительность при работе с картами, содержащими большое число элементов. Также это позволило разработать плавный, анимированный и эргономичный пользовательский интерфейс, что способствует комфортной работе конечного пользователя и как следствие более высокой производительности труда.

Представленный программный модуль реализован в рамках разработки единого программно-аппаратного комплекса автоматизированных зондовых измерений и контроля производственного цикла СВЧ-МИС, программная составляющая которого потенциально способна стать отечественным конкурентом зарубежных программных пакетов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Минченко В.А. Принципы построения и структурные схемы зондовых автоматических систем контроля параметров изделий микро- и нанoeлектроники на пластине / В.А. Минченко, Г.Ф. Ковальчук, С.Б. Школык // Приборы и методы измерений. – 2012. – №2. – С. 67–75.
2. Аргунов Д.П. Программа построения карт полупроводниковых пластин для проведения автоматизированных зондовых измерений СВЧ-МИС / Д.П. Аргунов, А.В. Безрук, А.Ю. Ющенко // Российская наука в современном мире: сб. ст. XIV Междунар. науч.-практ. конф. – М.: Науч.-изд. центр «Актуальность». – 2018. – С. 32–33.
3. Дональд Х. Компьютерная графика и стандарт OpenGL: пер. с англ. – 3-е изд. – М.: Изд. дом «Вильямс», 2005. – 1168 с.

### **ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ СХЕМА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИИ И ПРОВЕДЕНИЯ СОРЕВНОВАНИЙ ПО АЭРОБИКЕ**

*Р.А. Калюжин, студент*

*Научный руководитель Н.В. Зариковская, доцент каф. ЭМИС, к.ф.-м.н.*

*г. Томск, ТУСУР, tusur.rodion@gmail.com*

Организация и проведение соревнований по любому виду спорта имеют определенный алгоритм, Начиная с формирования календар-

ного плана, подачи заявок, проведения соревнований, подведения итогов. Большая часть рутинных операций и работы с документами по организации и проведению соревнований ложится на секретариат соревнований и, в частности, главного секретаря соревнований. Современный уровень технологии и техники позволяет большую часть таких операций автоматизировать. В настоящее время по некоторым видам спорта уже существуют аналогичные системы, реализованные как за рубежом, так и на территории РФ. Данная работа направлена на разработку и реализацию комплексной информационной системы для организации и проведения соревнований по спортивной аэробике. При разработке информационной системы (ИС) за основу взят алгоритм, представленный на рис. 1.

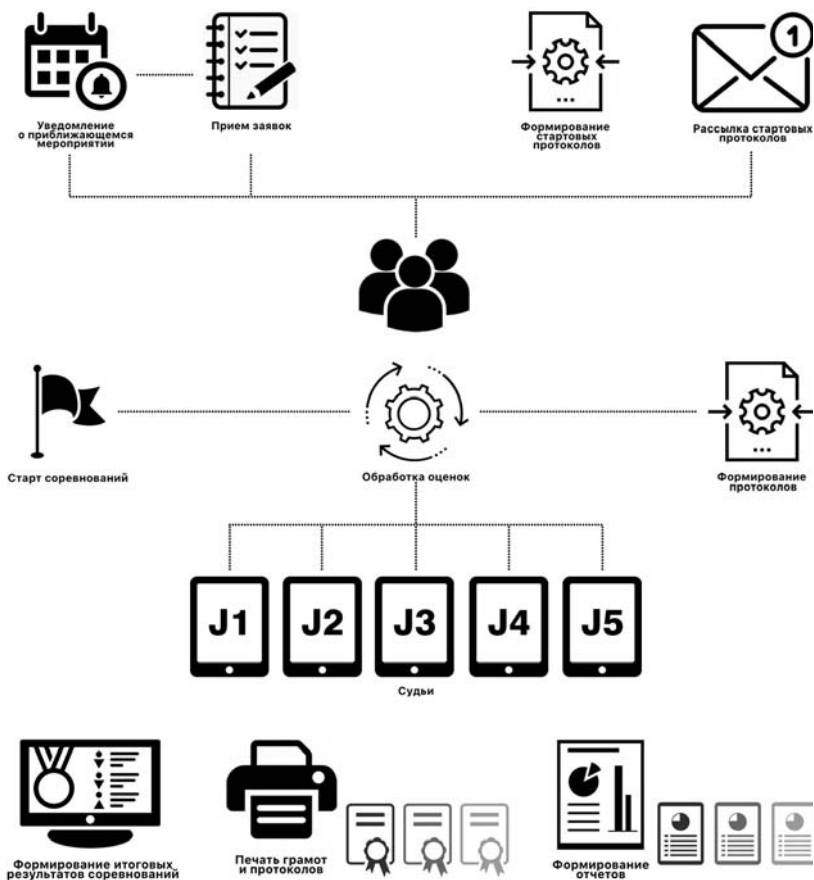


Рис. 1. Функциональная структура АИС



Предполагается, что данная система будет привязана к сайту Общероссийской общественной организации по виду спорта или к региональной общественной организации по виду спорта, далее – сайт Федерации.

Каждый спортсмен (тренер), желающий принять участие в конкретном мероприятии, должен будет зайти на страницу мероприятия на сайте Федерации и подать заявку на участие. При подаче заявки спортсмен (тренер) указывает, помимо личных данных (ФИО, год рождения), данные о спортивной квалификации и номинациях, в которых планирует выступать.

Далее ИС обрабатывает поданные заявки, формируя именные списки для участия с разбивкой по возрастным группам и номинациям. На основании количества участников, главный судья соревнований формирует программу соревнований. После окончания срока подачи заявок проводятся автоматическая жеребьевка и формирование стартового протокола согласно программе соревнований. При этом проводится проверка на «правило 15 минут» (между выступлениями одного и того же спортсмена в разных номинациях не может быть менее 15 мин [1]).

После окончания формирования стартовые протоколы рассылаются всем участникам или их представителям. При проведении мандатной комиссии стартовый протокол проверяется и корректируется. На основании окончательно сформированного стартового протокола – формируются протоколы соревнований. При проведении соревнований каждому судье выдается мобильное устройство на базе операционной системы Android, обеспечивающее ввод оценок.

Оценки с мобильных устройств передаются на сервер и отображаются в рабочем протоколе главного секретаря соревнований, который имеет возможность наблюдать в реальном времени за корректностью ввода оценок. После формирования протокола по каждой номинации производится автоматическое ранжирование мест с учетом всех правил «разведения» результатов для участников с одинаковым количеством баллов. Полученный протокол отправляется на согласование главного судьи соревнований, далее согласованный протокол поступает в наградной отдел для печати грамот и подготовки процедуры награждения.

По окончании соревнований производится печать протоколов для участников и формирование отчетов по итогам проведения соревнований.

В результате проделанной работы была спроектирована ИС для организации и проведения соревнований по спортивной аэробике.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Регламент проведения соревнований: «2017–2020 Правила соревнований. Аэробная гимнастика». – Международная федерация гимнастики, 2016.
2. Фаулер М. Архитектура корпоративных программных приложений. – М.: Изд. дом «Вильямс», 2004. – 544 с.
3. Марка Д.А. Методология структурного анализа и проектирования SADT / Д.А. Марка, К. Мак Гоуэн. – М.: МетаТехнология, 1993. – 243 с.

## РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ОБФУСКАЦИИ ИСХОДНОГО КОДА, НАПИСАННОГО НА ЯЗЫКЕ ПРОГРАММИРОВАНИЯ PYTHON, И ЕЕ РЕАЛИЗАЦИЯ

*Т.С. Койшинов, студент*

*Научный руководитель А.И. Гуляев, ассистент каф. КИБЭВС  
г. Томск, ТУСУР, каф. БИС, gai@keva.tusur.ru*

Исходный код приложения – это основной актив разработчика ПО. На написание кода уходит львиная доля времени и средств. Именно поэтому злоумышленники, а также конкуренты не преминут воспользоваться результатами труда в случае ненадлежащего отношения к его защите [1].

Существуют два основных способа защиты интеллектуальной собственности [2] и, следовательно, самих программных продуктов:

- юридический;
- технический.

Одним из технических способов защиты программных продуктов является обфускация исходного кода.

Суть процесса обфускации заключается в том, чтобы запутать программный код и устранить большинство логических связей трансформируя его так, чтобы он был очень труден для изучения и модификации посторонними лицами (будь то взломщики или программисты, которые собираются узнать уникальный алгоритм работы защищаемой программы) [3].

Процессы обфускации можно классифицировать по видам, в зависимости от способа модификации кода программы.

Виды обфускации [4]:

1. Лексическая обфускация заключается в удалении комментариев, замене названий переменных и функций.
2. Обфускация данных включает в себя изменение и создание новых типов данных и применение к ним комбинаторики.
3. Обфускация управления заключается в нарушении естественного хода программы, для чего используются непрозрачные предика-

ты. То есть это случай, когда результат исполняемых действий трудно предугадать в ходе данной процедуры.

Перед разработкой методики были проанализированы пять обфускаторов программного кода python. Методы, применяемые обфускатором, приведены в таблице.

**Методы, используемые обфускаторами python**

	Лексическая обфускация	Обфускация данных	Обфускация управления
Pyobfuscate	+	-	-
Bitboost	+	-	-
Pyminifier	+	-	-
Опу	+	+	-
Охугу	+	-	-

После анализа обфускаторов было решено за основу метода обфускации использовать обфускацию управления.

Алгоритм разработанной методики:

1. По исходному коду python составляем синтаксическое дерево.

Пример синтаксического дерева отображен на рис. 1.

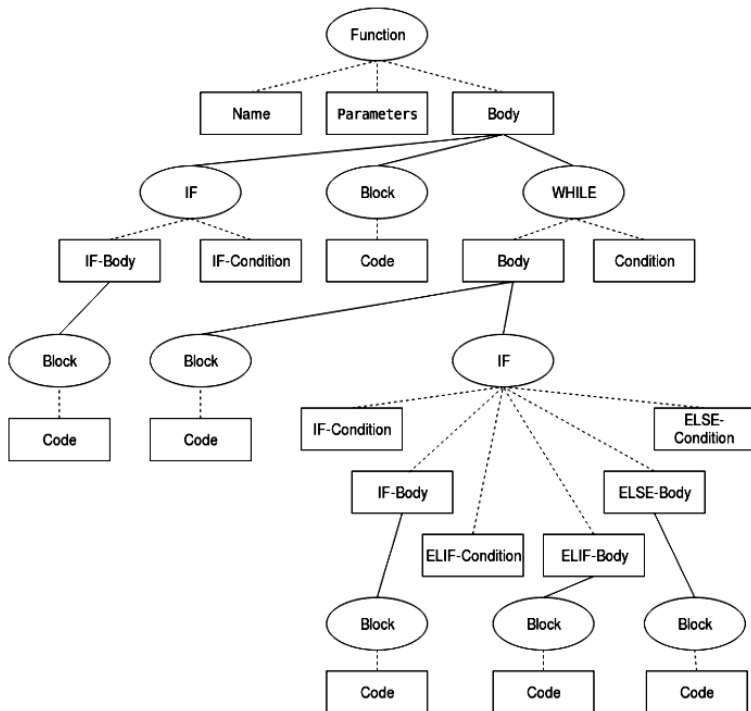


Рис. 1. Синтаксическое дерево

2. Замена всех условий («condition» блок) на эквивалентный, но более запутанный.

3. Клонирование блоков («Body») во всех условиях, т.е. в каждом блоке «IF» добавляется недостижимый блок «ELIF-Body».

4. Проверка всех блоков «Code» на наличие строки «return...», если подобный блок находится, то он преобразуется в эквивалентный, но усложненный дополнительными математическими и логическими операциями.

5. Сборка синтаксического дерева обратно в исходный код.

По приведенному алгоритму был разработан обфускатор для исходного кода python.

После тестирования программ python, обфусцированных разработанным обфускатором, было замечено, что скорость выполнения программ не изменилась.

Пример обфусцированного кода показан на рис. 2.

```
def checkio(expression):
    status, brack_end = [], {"}":"{","}":"(","}":"["
    for i in expression:
        if (i in brack_end.values()) and not ((0x29384 % (int(True)+0x6)*3) >=
20):
            status.append(i)
            elif (set('abcdefgh') > {True} or 0x2342 >> 0x35) or (i in
brack_end.keys()):
                if (set('abcdefgh') > {True} or 0x2342 >> 0x35) or (not status):
                    return not (((7116) << 1 ^ 0x1765) != 0) or (False) if
((0x29384 % (int(bool(False))+0x6)*3) >= 20) else False
                elif set('abcdefgh') > {not status} or 0x2342 >> 0x35:
                    return (False) or ((int(False) % 0x38 + 0xe4df62c8 &
0x6d755e00) > 0x6455420) if (131 <= sum(map(ord, str(bool(False)))) <= 231)
                else False
                if (status.pop() != brack_end[i]) and not ((0x29384 % (int(True)
+0x6)*3) >= 20):
                    return (set('abcdefgh') > {True} or 0x2342 >> 0x35) or (False)
                if ((0x29384 % (int(bool(False))+0x6)*3) >= 20) else False
                elif (0x29384 % (int(status != brack_end[i])+0x6)*3) >= 28:
                    return (set('abcdefgh') > {True} or 0x2342 >> 0x35) or (True)
                if (set('abcdefgh') > {bool(True)} or 0x2342 >> 0x35) else True
                elif set('abcdefgh') > {i in brack_end} or 0x2342 >> 0x35:
                    status.append(i)
                return (not status) and ((int(False) % 0x38 + 0xe4df62c8 & 0x6d755e00) >
0x6455420) if ((0x29384 % (int(bool(not status))+0x6)*3) >= 20) else not status
```

Рис. 2. Обфусцированный код

**Заключение.** После анализа обфускаторов python были разработаны алгоритм обфускации и обфускатор исходного кода python. Разработанный обфускатор обфусцирует способом, не реализованным ни одним из рассмотренных обфускаторов, что позволяет использовать разработанный обфускатор с обфускатором Ору, покрывая все возможные методы обфускации, не теряя в производительности обфусцируемых программ.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Защита исходного кода и обфускация приложений [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.star-force.ru/solutions/source-code-protection/> (дата обращения: 19.01.2018).
2. Обфускация и защита программных продуктов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://citforum.ru/security/articles/obfus/> (дата обращения: 19.01.2018).
3. Collberg C., Thomborson C., Low D. A taxonomy of Obfuscating Transformations // Technical Report. – 1997. – № 146. – P. 1–3.
4. Защита программ. Обфускация [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://geekbrains.ru/posts/app\\_protection\\_part2](https://geekbrains.ru/posts/app_protection_part2) (дата обращения: 15.01.2018).

## РЕАЛИЗАЦИЯ КОМБИНИРОВАННОГО МЕТОДА ДЕКОДИРОВАНИЯ НА ПРИМЕРЕ ДЕКОДЕРА ПОЛИНОМИАЛЬНОГО КОДА (17,9)

**С.Е. Рыжова, Е.А. Мыцко, аспиранты**

*Научный руководитель А.Н. Мальчуков, к.т.н., доцент отд. ИТ  
ИШИТР*

*г. Томск, отд. ИТ ИШИТР, НИТПУ, r.svet93@ya.ru*

Устройства помехоустойчивого кодирования широко применяются для повышения стабильности сигнала и для оперативного обнаружения и исправления ошибок в различных системах связи. Наиболее известным методом повышения помехоустойчивости систем передач данных является добавление избыточной информации к передаваемым данным. В данной области наибольшее распространение получили блочные коды со свойством цикличности – коды Боуза–Чоудхури–Хоквингема (БЧХ-коды) и коды Рида–Соломона (РС-коды) [1].

Количество добавляемых избыточных символов зависит от двух параметров: длины передаваемого сообщения и корректирующей способности кода (количества исправляемых ошибок). Однако при увеличении корректирующей способности кода увеличивается длина контрольного блока, и в свою очередь также увеличивается длина передаваемой комбинации.

Недостатком циклического метода декодирования является то, что при  $m > k$  не все ошибки заданной кратности могут быть исправлены. Для решения данной проблемы применяется комбинация циклического и синдромного методов декодирования. Циклический метод осуществляет декодирование по весу остатка от деления кодового слова на образующий полином. Синдромный же метод позволяет найти исправляющую комбинацию (шаблон ошибки), синдром которой не удовлетворяет необходимому условию циклического метода декодирования. Данная комбинация методов позволяет обнаруживать

ошибки заданной кратности, при этом не увеличивая избыточность передаваемой информации.

В работе предложен декодер помехоустойчивого полиномиального кода (17,9). Данный код имеет следующие параметры:  $n = 17$  – длина входного кодового слова;  $m = 9$  – длина информационного сообщения;  $k = 8$  – длина контрольного блока (избыточность передаваемого сообщения);  $t = 2$  – количество ошибок, которое возможно будет исправить.

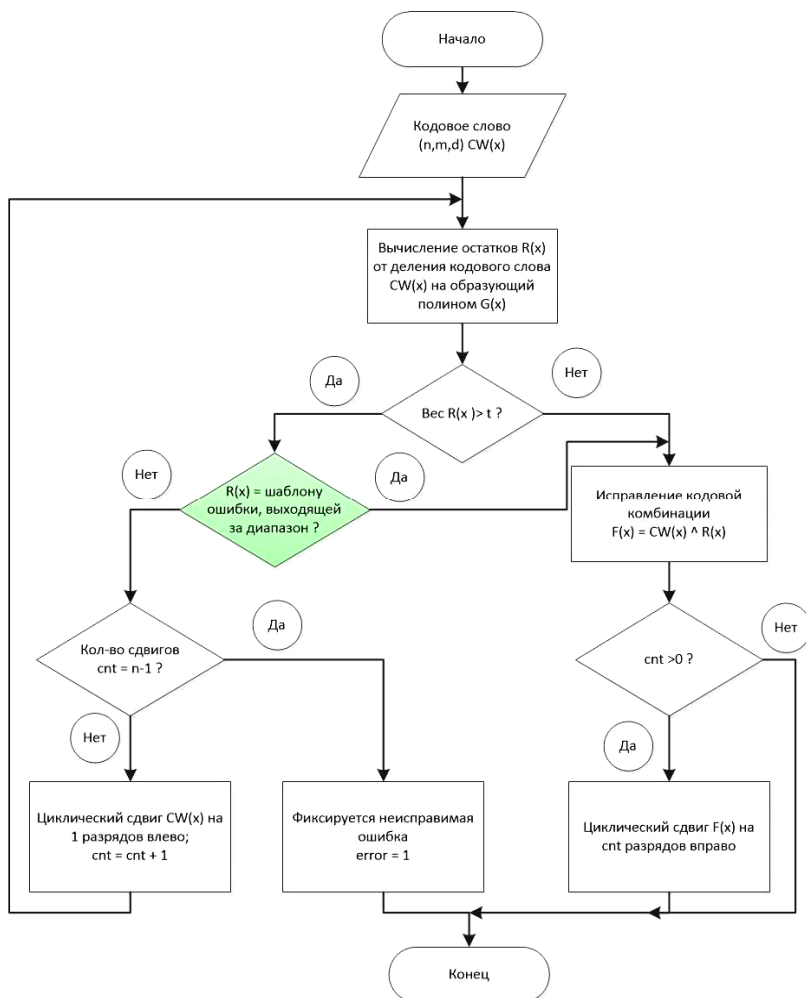


Рис. 1. Блок-схема комбинационного метода декодирования

Можно заметить, что контрольный блок на 1 бит короче информационного и что существует вероятность возникновения такой двукратной ошибки, которую декодер не сможет обнаружить. Для того чтобы устранить данный недостаток, необходимо добавить условие, которое будет обнаруживать и исправлять ошибку, выпадающую из области проверки контрольного блока («скользящего окна»).

На рис. 1 представлена блок-схема комбинированного метода декодирования. Блок, затонированный цветом, отвечает за поиск ошибки, выпадающей из «скользящего окна».

По алгоритму, представленному на рис. 1, был спроектирован декодер в САПР Quartus II с использованием языка описания аппаратуры SystemVerilog.

Данная схема реализована для обнаружения и исправления двукратных независимых ошибок в 17-битной кодовой комбинации. На рис. 2 представлен пример работы декодера в среде моделирования ModelSim.

Signal	Value
/top/POL	00100101101101000
/top/START	St1
/top/UNCORRECT	St0
/top/CORRECT	St0
/top/FIX_POL	00100001101101100

Рис. 2. Пример работы декодера (19,7)

Длина кодового слова для предложенного декодера не удовлетворяет классическому условию BCH-кода:  $n = 2^h - 1$ , где  $h$  – любое целое число. Поэтому в качестве аналогов для сравнительного анализа (таблица) были выбраны декодеры с длиной сообщения  $m = 7$  (длина кодовой комбинации = 15, количество исправляемых ошибок = 2).

#### Сравнительный анализ по времени работы устройств

	Время работы	Logic Cells	FPGA
Декодер (15,7,5) [3]	28,05 нс	446 (9%)	Cyclone III
Аналог 1 [4]	33,18 мкс	<b>98 (1%)</b>	Spartan 3
<b>Декодер (17,9)</b>	<b>26,8 нс</b>	632 (12%)	Cyclone III

По результатам сравнительного анализа было установлено, что декодер-аналог [2] использует меньшее количество логических ячеек, чем два оставшихся. Однако его время работы в разы больше, чем у декодера (15,7,5) [3] и предложенного в данной работе декодера (17,9).

## ЛИТЕРАТУРА

1. Морелос-Сарагоса Р. Искусство помехоустойчивого кодирования: методы, алгоритмы, применение: учеб. пособие. – М.: Техносфера. 2006. – 320 с.
2. Мыцко Е.А., Мальчуков А.Н., Рыжова С.Е., Зоев И.В., Ким В.Л. Разработка структуры быстродействующего декодера BCH-кода (15,7,5) на основе метода циклического декодирования // Прикладная информатика. – 2017. – Т. 12, №. 2(68). – С. 72–78.
3. Mohammed S.J., Abdulsada H.F. Design and Implementation of 2 bits BCH Error Correcting Codes using FPGA // Journal of Telecommunications. – April 2013. – Vol. 19, Is. 2. – P. 11–17.

## ОБРАБОТКА ПОТОКА ИЗОБРАЖЕНИЙ С ЦЕЛЮ ВЫДЕЛЕНИЯ ОБЪЕКТА И ИССЛЕДОВАНИЯ ОСОБЕННОСТЕЙ ПОХОДКИ ЧЕЛОВЕКА

*Е.В. Рудова, студентка*

*Научный руководитель М.Ю. Катаев, д.т.н., проф. каф. АСУ  
г. Томск, ТУСУР, каф. АСУ, issa4ka@mail.ru*

В современном мире во многих сферах жизни используются изображения и компьютерное зрение [1]. Самым важным на сегодняшний день является распознавание объектов в мультимедийном видеопотоке. Именно поэтому обработка изображений является актуальным направлением деятельности.

В рамках данного проекта разрабатывается программный продукт, позволяющий выделить движущийся объект из видеопотока или набора кадров, определить центр тяжести выделенной фигуры. Далее, основываясь на результаты вычислений, необходимо провести анализ полученных результатов обработки.

Использование этого продукта предполагается в медицине для анализа походки человека.

Ходьба – это сложный процесс, в котором задействованы многие уровни нервной системы. Прежде всего здесь задействованы нервная и костно-мышечная системы. И если нервные импульсы не проходят до нужных мышц или суставы не совершают должной амплитуды движений, то это сказывается на походке человека. По походке можно узнать о здоровье человека, если с ним имеются какие-то проблемы, то поступь способна кардинально измениться [2].

В медицине существует термин, определяющий нарушение походки, – это дисбазия или абазия [3].

Для реализации алгоритмов из многообразия существующих библиотек была выбрана библиотека OpenCV [4], которая является



библиотекой компьютерного зрения с открытым исходным кодом. К преимуществам этой библиотеки можно отнести то, что многие алгоритмы обработки в ней уже реализованы, она является кроссплатформенной и имеет достаточно высокую производительность

### **Результаты работы**

Программа разделена на два основных блока:

1. Получение бинарных изображений.
2. Расчет центра тяжести тремя способами.

В первом блоке на вход подается видеофайл, разделяется на кадры, и далее кадры проходят три этапа обработки:

1. Удаление шумов и теней.
2. Выделение объекта.
3. Бинаризация изображения.

В результате трехэтапной обработки на выходе получаем набор бинаризованных кадров, на которых объект выделен белым цветом, а фон – черным.

Во втором блоке на вход подается бинарное изображение, на основе которого происходит расчет центра тяжести объекта и длина шага различными способами.

В результате работы второго блока на выходе получаем файл с расширением csv, в котором содержатся результаты расчетов.

Для того чтобы проанализировать походку человека во время ходьбы, необходимо построить график, который будет зависть от результатов, полученных в трех методах исследования динамики движения человека.

Совместно с СибГМУ были записаны видеофайлы с двумя испытуемыми (мужчина и женщина). Каждый испытуемый передвигается по статичному фону. При этом было снято два варианта походки:

1. Естественная походка испытуемых.

2. Каждому испытуемому были надеты очки, в которых доступна только половина изображения, также была поднята голова испытуемого.

Далее каждый видеофайл прошел обработку в программе, и были получены следующие результаты при вычислении центра тяжести:

1. Исследование походки женщины.
2. Исследование походки мужчины.

Красной линией отмечены результаты походки в очках с поднятой головой, а синей линией – обычная походка.

Исследуя графики (рис. 1, 2), можно заметить, что существуют различия между двумя графиками. Например, при движении с поднятой головой шаг замедляется, а амплитуда движения уменьшается.

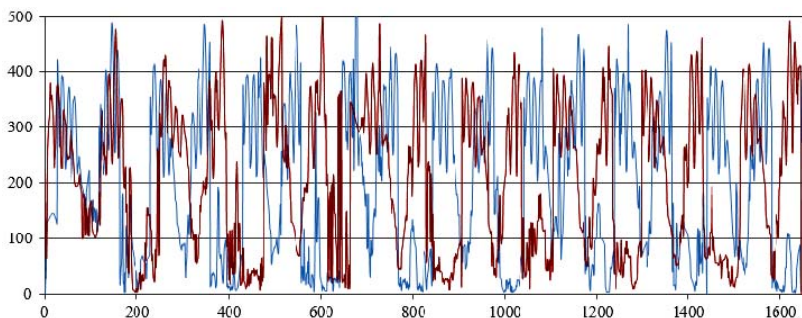


Рис. 1. График женской походки

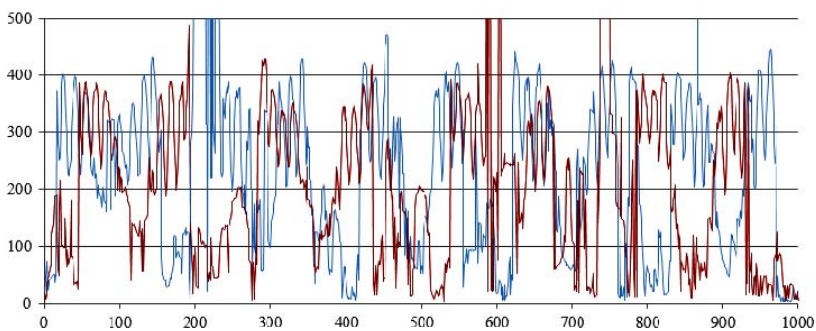


Рис. 2. График мужской походки

**Планы дальнейшего развития.** В дальнейшем планируется:

1. Провести дополнительные испытания, благодаря которым можно было бы выделить закономерности и провести более детальный анализ походки человека.
2. Обработать полученные графики, а именно сделать график более плавным и убрать ошибочные значения.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Форсайт Д., Понс Ж. Компьютерное зрение. Современный подход. – М.: Вильямс, 2004. – 928 с.
2. Скворцов Д.В. Клинический анализ движения. Анализ походки. – Иваново: Стимул, 1996. – 334 с.
3. Справочник по неврологии [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://neurodoc.ru/diagnostika/simptomy/astaziya-abaziya.html> (дата обращения: 13.03.2018).
4. Ко Т., Soatto S., Estrin D. Background Subtraction on Distributions // ECCV '08 Proceedings of the 10th European Conference on Computer Vision: Part III. – 2008 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://vision.ucla.edu/papers/koSE08.pdf> (дата обращения: 13.03.2018).

## **ПОДСЕКЦИЯ 3.9**

### **ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ СРЕДСТВА ПОДДЕРЖКИ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ**

*Председатель – Хабибулина Н.Ю., доцент каф. КСУП, к.т.н.;*  
*зам. председателя – Потапова Е.А., ст. преп. каф. КСУП*

#### **АНАЛИЗ СПЕКТРА СИГНАЛОВ В PLC-КАНАЛЕ ТИПОВОГО МНОГOKВАРТИРНОГО ЖИЛОГО ДОМА**

*А.О. Карасенко, магистрант;*

*Ю.О. Мякочин, директор ЦП РЭА АО «ПКК Миландр»;*

*А.А. Гусаров, магистрант ФРТК МФТИ*

*Научный руководитель Д.Д. Зыков, доцент, к.т.н.,*

*директор ЦСП ТУСУРа*

*г. Томск, ТУСУР, каф. КСУП, kao@csp.tusur.ru*

На данный момент технология PLC широко применяется как при реализациях системы «Умный дом», так в автоматических системах учета энергоресурсов (АСКУЭ). Тем не менее линии электросети имеют различные шумы, которые препятствуют успешной передаче сигнала. В связи с этим существует потребность проведения спектрального анализа сигналов с целью выявления частот, неблагоприятных для передачи сигналов. В статье приведены результаты измерений, полученные в процессе проведения эксперимента [1].

Исследования проводились в соответствии со стандартом G3-PLC. Стандарт содержит рекомендации по использованию узкополосного диапазона частот для передачи данных по линиям электросети. В рамках анализа частот рассматривается многоквартирный жилой дом. В данном доме реализована передача данных в узкополосных диапазонах частот CENELEC-A (35,9–90,6 кГц) и CENELEC-B (90–122 кГц) [2]. Общая схема PLC-сети жилого дома представлена на рис. 1.

В ходе эксперимента анализировались амплитудно-частотные характеристики в канале PLC при передаче сигналов от узлов сети до устройства сбора и передачи данных (УСПД). Измерения проводились с помощью анализатора спектра. В качестве результатов была

получена спектрограмма сигналов в PLC-сети жилого дома, которая проиллюстрирована на рис. 2.

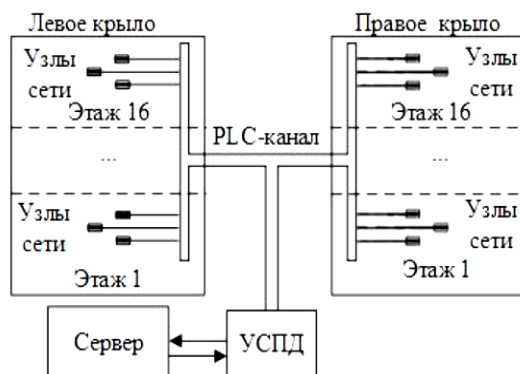


Рис. 1. Общая схема PLC-сети жилого дома

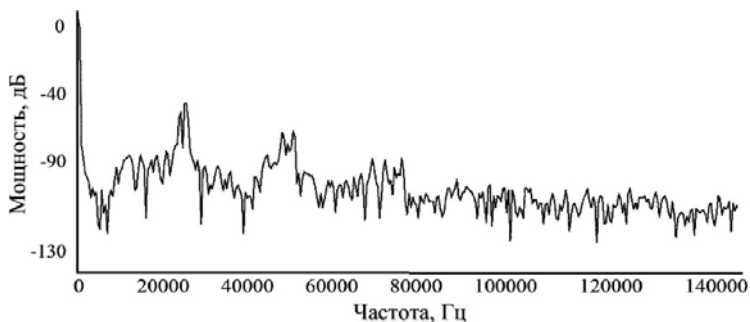


Рис. 2. Спектрограмма сигналов в PLC-сети жилого дома

В результате экспериментальных исследований были получены уровни мощности сигналов на спектрограмме в промежутке от 0 до 140 кГц. На промежутке 1–65 кГц получены уровни мощности постоянного шума в канале связи. Максимальный уровень мощности шума сохраняется на частоте 22,7 кГц и равен 60 дБ. передача на частотах до 65 кГц будет проходить с искажениями и может повредить передаваемые данные.

Анализ полученных результатов позволяет сделать вывод о том, что передача на частотах до 65 кГц будет проходить с искажениями, в связи с этим наиболее подходящими частотами для передачи данных является диапазон 65–122 кГц, что захватывает три поддиапазона CENELEC-A и все поддиапазоны CENELEC-B. На данном диапазоне наблюдается отсутствие сильных шумов, что позволяет передавать

данные без потерь. По результатам эксперимента проведены корректировка и переключение системы связи на рекомендуемые параметры.

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки РФ по соглашению № 14.577.21.0230. Уникальный идентификатор проекта – RFMEFI57716X0230.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Скляр Б. Цифровая связь: Теоретические основы и практическое применение. – М.: Изд. дом «Вильямс», 2004. – 1104 с.

2. Narrowband orthogonal frequency division multiplexing power line communication transceivers for G3-PLC networks / ITU-T Rec. G.9903. – Geneva, 2014. – 215 p.

### ПРОЦЕДУРНАЯ ГЕНЕРАЦИЯ ЛАНДШАФТОВ

*К.Б. Фёдоров, студент НИТПУ*

*Научный руководитель О.Б. Фофанов, доцент*

*отд. информационных технологий*

*г. Томск, ИШИТР, НИТПУ, kbfl@tpu.ru*

Процедурной генерацией ландшафта называют алгоритмическое моделирование природных и искусственных процессов, влияющих на внешний вид локаций. Эта тема стала популярна, в основном, благодаря компьютерным играм, однако в последние годы также используется и в кинематографе. Используя процедурную генерацию, можно быстро получить уникальный ландшафт, на создание которого художникам, аниматорам и дизайнерам понадобились бы большие временные затраты.

Существует множество различных подходов к генерации ландшафтов. Большинство из них основано на шумовых функциях, полигональных картах или физическом моделировании.

Одной из основных проблем в этой области является разрозненность различных инструментов для генерации того или иного контента. Таким образом, при необходимости создания процедурной модели в виде острова необходимо искать решение для генерации ландшафта, после чего найти алгоритм автоматического создания населённых пунктов, а для окончательного итога сохранить карту виртуального мира в удобном формате. Алгоритм процедурной генерации зачастую представляет собой несколько отдельных решений, совместное использование которых может быть неэффективно. В данной работе предлагается процедурный генератор, реализующий следующий функционал:

1. Создание основных форм местности.

2. Поддержка генерации населённых пунктов и дорог.
3. Широкий спектр настроек, позволяющий создавать именно необходимый игровой мир.
4. Создание текстур и карт местности.
5. Экспорт и импорт данных о ландшафте.
6. Высокая скорость выполнения.

Для задания исходной поверхности было решено использовать алгоритм генерации градиентного шума diamond-square (рис. 1). Этот алгоритм в стандартной реализации является рекурсивным, автором решено реализовать его итерационным методом, чтобы избежать переполнения стека при создании карт большого размера.



Рис. 1. Наглядная демонстрация алгоритма diamond-square

Алгоритм состоит из двух шагов: первый – «square» – определяет высоту центральной точки в квадратной рамке с помощью усреднения высот на углах добавления случайной величины. Причем очень важно, чтобы величина прямо зависела от размера текущей рамки, иначе вся карта превратится в шум. На втором шаге – «diamond» – алгоритм рассчитывает высоту всех точек рамки, которые лежат на серединах её сторон. Здесь усредняются не только две точки, между которыми и заключена новая, но и пара точек на прямой, перпендикулярной первым двум. Эти две точки были получены на шаге «square». Таким образом, эти две высоты должны быть посчитаны до начала выполнения второго шага. Из-за этого алгоритм работает поэтапно. Преимуществом данного подхода является малая вычислительная сложность, недостатком является невозможность распараллеливания вычислений на несколько ядер. Следует отметить, что в стандартный алгоритм также были внесены изменения, влияющие на периодичность шума. Эта модификация позволяет создавать более сложные шумы, являющиеся наложением сразу нескольких других шумов.

Необходимо применить к шуму различные фильтры, чтобы придать ему естественную форму, например вид озера или равнины. После этого можно добавлять такие естественные структуры, как горы, реки, обрывы и леса. На основании всех полученных данных строится карта высот, с помощью которой осуществляется разметка дороги населённых пунктов. После этого необходимо экспортировать все данные в требуемом пользователю виде, например 3d-модели в формате OBJ, а текстуры – в TIFF. Заключительным этапом является создание карт местности (рис. 2).

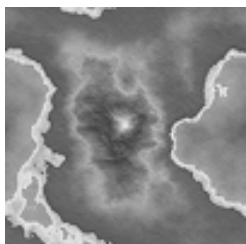


Рис. 2. Демонстрация создания карты, стилизованной под снимок со спутника, для сгенерированного ландшафта

Создание процедурно генерируемых миров тесно связано не только с алгоритмами моделирования ландшафта и 3D-объектами, но и с растровыми изображениями. Текстуры поверхностей, карты ландшафта, карты нормалей и прочие графические ресурсы постоянно читаются и создаются во время выполнения программы. Таким образом, для обеспечения полной функциональности генератора необходима быстрая графическая библиотека с минимальным функционалом. Системная библиотека System.Drawing (C#) обладает полным функционалом, но работа с ней в попиксельном режиме занимает очень много времени. Таким образом, необходимо создать собственную библиотеку с необходимым функционалом.

Для быстрого попиксельного доступа предложен оригинальный кодек для формата BMP, быстро обрабатываемого компьютером и простого для просмотра человеком. Если на вход подаётся изображение в другом формате, оно конвертируется средствами системной библиотеки в BMP (что не требует точечного доступа к данным), и только потом к сконвертированному изображению осуществляется попиксельный доступ.

Реализованная графическая библиотека также поддерживает возможность рисования геометрических примитивов: линий, прямоугольников и кругов, наложение изображений по маске, а также создание карты нормалей, хранящей информацию об освещении текстуры.

На данный момент полностью реализована графическая библиотека, а также написана значительная часть алгоритмов обработки матриц, содержащих сгенерированный шум.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Процедурная генерация планетарных карт [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://habrahabr.ru/post/313420/> (дата обращения: 20.03.2018).
2. Генерация ландшафта как в Minecraft [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://habrahabr.ru/post/128368/> (дата обращения: 20.03.2018).

**СЕКЦИЯ 6**

**ЭКОЛОГИЯ И МОНИТОРИНГ**

**ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ.**

**БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ**





## **СЕКЦИЯ 6**

### **ЭКОЛОГИЯ И МОНИТОРИНГ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ. БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ**

*Председатель – Карташев А.Г., проф. каф. РЭТЭМ, д.б.н.;  
зам. председателя – Денисова Т.В., доцент каф. РЭТЭМ, к.б.н.*

#### **ИССЛЕДОВАНИЕ РЕАКЦИИ ЗРАЧКА НА ВНЕШНИЙ РАЗДРАЖИТЕЛЬ**

*Р.Р. Габдрахимова, Н.Я. Бикбердина, студентки*

*Научный руководитель М.П. Бороненко, доцент каф. ФОТД, к.т.н.  
г. Ханты-Мансийск, ЮГУ, каф. ФОТД, MarinaB7@yandex.ru*

В последнее время происходит множество событий, находящихся отклик в человеческих сердцах и вызывающих неизменное желание их предотвратить: массовые суициды, нападения на школы, теракты. Для противодействия подобным явлениям разрабатываются специализированные комплексы, основным элементом которых являются оптические системы видеонаблюдения [1–6]. Но, несмотря на принимаемые меры, трагические инциденты происходят и принимают новые формы. Поэтому актуальность совершенствования систем видеонаблюдения и разработка новых очевидны. Обзор исследовательских работ показал, что для распознавания и идентификации потенциально опасных людей стали применять биометрию. Фальсификацию в системах распознавания по лицу можно обнаружить путем анализа признаков витальности (признаков жизни) распознаваемого объекта. Для проверки живости глаза в системах распознавания по радужной оболочке глаза используется измерение нормальных постоянных колебаний размеров зрачка [10]. Согласно [15] эмоции можно считать определяемыми процессами. Исследователями из Санкт-Петербурга была спроектирована программа для распознавания и тренировки эмоций на языке С#, реализованы все вспомогательные алгоритмы: алгоритм Виолы–Джонса, алгоритм бинаризации изображений и фильтр Собеля; прошло успешное обучение нейронной сети; удалось добиться приемлемого уровня точности для имеющейся обучающей выборки

[13]. Исследователи ТПУ под руководством А.А. Друки разработали алгоритм обнаружения образа лица и алгоритмы распознавания эмоционального состояния человека по изображению его лица на сложном фоне [14]. В таких странах, как США, Израиль, Германия, идут испытания биометрических систем распознавания на стадионах, в метро, аэропортах и т.п. Ни одна из найденных систем не основывается на анализе размеров зрачков [23–25]. Это можно объяснить сильной зависимостью размеров зрачка от освещенности и неопределенностью исходного состояния зрачка. Таким образом, необходимо дополнить имеющиеся оптические системы слежения тест-объектами, и разработать методику активного наблюдения. В работе представлены первые результаты исследования реакции зрачков на элементарные тест-объекты.

**Приборы и методика эксперимента.** Основные положения, на которых основана разрабатываемая методика распознавания психофизического состояния человека:

– неосознанная однозначная биохимическая реакция человеческого организма на услышанную (увиденную) информацию [26];

– реакция зрачка на поступившую информацию в момент времени  $t_1$ , рассматриваемый относительно момента времени  $t_0$  интерпретируется однозначно, если освещенность зрачка одинакова в обоих случаях;

– пространственное и временное разрешение современных цифровых видеокамер позволяет осуществить видеосъемку с нужным разрешением.

Видеосъемка глаз осуществлялась на расстояниях, на которых изменение освещенности от тест-объектов несущественно. В качестве тест-объекта вызывали одну из двух эмоций (умиление/отвращение). При отвращении наблюдалось сужение зрачка, при умилении – расширение. Большие всплески относительного значения уровня черного соответствуют моменту закрытия глаз. На рис. 1 представлена типичная зависимость реакции зрачков людей на тест-объекты при дневном свете и искусственном освещении.

Черные глаза представлялись наиболее сложными для анализа. Оказалось наоборот, графики зависимостей отклика зрачка на тест-объект менее зашумлены. Связь интенсивности физического раздражителя и психического ответа (чувствительности) выражается в следующей формуле [27]:

$$\frac{dS}{S} = a \frac{dx_s}{x_s^z},$$

где  $S$  – внешнее воздействие;  $x_s$  – ощущение;  $dS$  – изменение внешнего воздействия;  $dx_s$  – изменение ощущения;  $z$  – выражает собой уровень осведомленности испытуемого о задачах эксперимента и изменяется от 0 до 1. Нужно отметить, что при дневном освещении для экспериментов использовались те же тест-объекты.

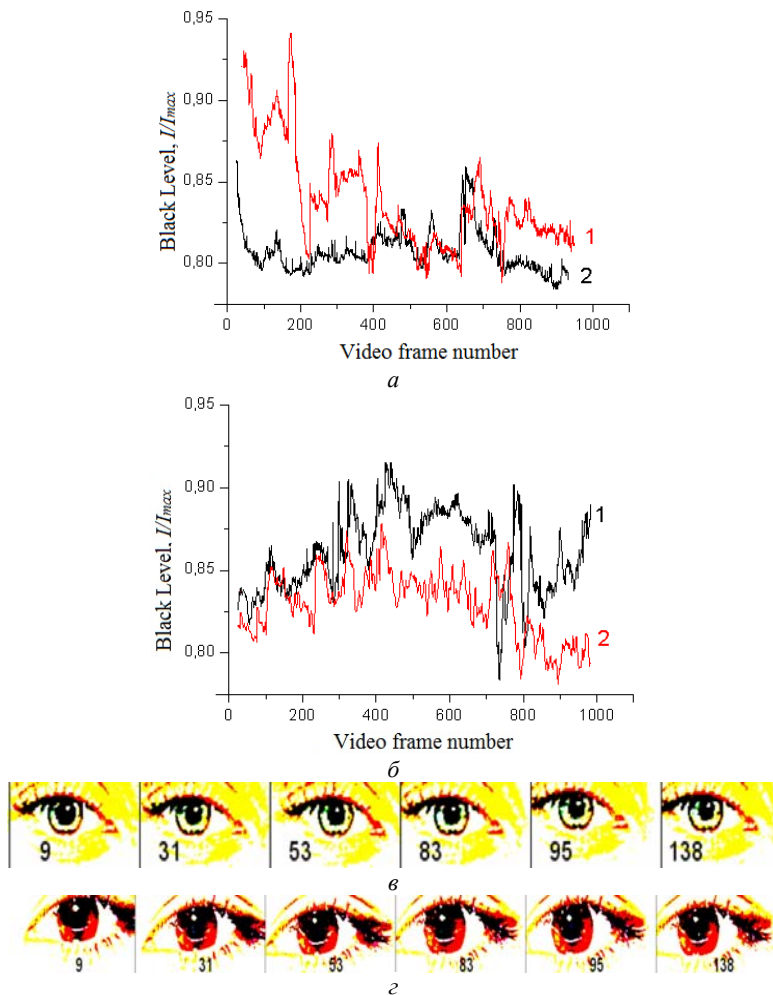


Рис. 1. Искусственное освещение – а: 1 – серые глаза; 2 – черные глаза; естественное освещение – б: 1 – серые глаза; 2 – черные глаза; в – последовательность видеок кадров с– серые глаза; г – последовательность видеок кадров – черные глаза

**Основные результаты и выводы.** Системы идентификации и распознавания, основанные на оценке эмоционального состояния и мимики, являются наиболее перспективными для применения в системах безопасности. Эксперты считают одним из характерных признаков террориста-самоубийцы наличие состояния «стеклянных глаз», характеризуемого измененным состоянием зрачков. В ходе экспериментов установлено, что удается зарегистрировать изменение состояния зрачков в ответ на внешний эмоциональный раздражитель. Представленные результаты подтверждают возможность создания активных систем безопасности.

Исследование выполнено при частичной финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-08-01475 А.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Погудин А.А. Разработка учебного стенда системы видеонаблюдения // Проблемы правовой и технической защиты информации. – 2015. – С. 96–97.
2. Векилов Т.Э. Видеонаблюдение как инструмент обеспечения безопасности и управления на транспорте // Автоматизация в промышленности. – 2017. – Т. 2. – С. 45–48.
3. Надвоцкая В.В., Шундеев И.С. Особенности проектирования систем безопасности с учетом масштабирования: матер. XVII Междунар. науч.-техн. конф. «ВИС–2016». – Барнаул: Изд-во Алт. гос. ун-та, 2016. – С. 260–262.
4. Хрящев В.В., Храбров Д.Е., Казина Е.М. Выбор наилучшего лица при решении задач биометрической идентификации и верификации на основе нейронных сетей // ББК 32.8 К84. – 2017. – С. 130.
5. Локтев А.А., Алфимцев А.Н., Локтев Д.А. Алгоритм распознавания объектов // Вестник МГСУ. – 2012. – № 5.
6. Полещук О.В., Яровенко В.В. Получение информации с систем видеонаблюдения и видеорегистраторов // Современные проблемы и пути их решения в науке, транспорте, производстве и образовании. – 2013.
7. Гонта А. Проектирование систем видеонаблюдения // Алгоритм безопасности. – 2008. – №1 (точка доступа 22.01.18. <http://secur-help.ru/Proektirovanie.html>).
8. Варлатая С.К., Рудных Н.С., Лужин В.М. Биометрические данные как способ идентификации личности // Молодой ученый. – 2016. – №7. – С. 49–51. – URL: <https://moluch.ru/archive/111/27402/> (дата обращения: 20.01.2018).
9. Shleymovich M. P. К вопросу о бесконтактном определении физиологического состояния человека // Научно-методический и информационный журнал. – 2015. – Т. 1. – С. 13.
10. Бекмурзин М.С., Захаров В.П., Зачек О.И. Биометрические технологии в антитеррористической деятельности правоохранительных органов: перспективы и проблемы использования // Вестник Моск. ун-та МВД России. – 2014. – № 10.
11. Волков А.К., Семёнова И.А. Применение технологии виброизображения для выявления потенциально опасных пассажиров // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. – 2012. – Т. 1, № 8.

12. Гукасов В.М. и др. Метод виброизображения и NLS-диагностика – современная основа экологической безопасности // Научные труды VI Международ. конгр. «Слабые и сверхслабые поля и излучения в биологии и медицине». – 2012. – 217 с.
13. Санакоев Б.А., Калинин С.А., Симонов А.О. Проектирование и разработка системы тренировки и распознавания эмоций // Прорывные научные исследования как двигатель науки. – 2017. – С. 91–96.
14. Друки А.А. Система поиска, выделения и распознавания лиц на изображениях // Известия Том. политехн. ун-та. – 2011. – Т. 318, № 5.
15. Санников К.А. Разработка алгоритмов распознавания эмоционального состояния человека по изображению его лица. – М., 2017.
16. Picard R.W., Picard R. Affective computing. – Cambridge: MIT press, 1997. – Т. 252.
17. Panksepp J. Affective neuroscience: The foundations of human and animal emotions. – Oxford university press, 2004 (Блог компании Neurodata Lab).
18. Богданов Е.А., Айдинян А.Р. Обзор уязвимостей биометрических систем аутентификации // Роль инноваций в трансформации современной науки. – 2017. – С. 25.
19. Варлатая С.К., Рудных Н.С., Лужин В.М. Биометрические данные как способ идентификации личности // Молодой ученый. – 2016. – №7. – С. 49–51. – URL: <https://moluch.ru/archive/111/27402/> (дата обращения: 20.01.2018).
20. Пелевин М.С. Использование алгоритма поиска минимального остовного дерева для средств визуализации изображений защищенной отказоустойчивой корпоративной инфраструктуры // Информационная безопасность регионов России (ИБРР-2017).
21. Юбилейная X Санкт-Петербургская межрегиональная конференция. СПб., 1–3 ноября 2017 г.: матер. конф. (СПОИСУ). – СПб., 2017. – 580 с.
22. Брагина Е.К., Егоров И.Э. Повышение защищенности информации от нсд с использованием биометрической аутентификации // Информационная безопасность регионов России (ИБРР-2017).
23. Векилов Т.Э. Видеонаблюдение как инструмент обеспечения безопасности и управления на транспорте // Автоматизация в промышленности. – 2017. – Т. 2. – С. 45–48.
24. Shleymovich M. P. К вопросу о бесконтактном определении физиологического состояния человека // Научно-методический и информационный. – 2015. – Т. 1. – С. 13.
25. Иомдина Е.Н., Бауэр С.М., Котляр К.Е. Биомеханика глаза: теоретические аспекты и клинические приложения. – М.: Реал Тайм, 2015. – Т. 208.
26. Немов Р. Психология. – Litres, 2017.
27. Иомдина Е.Н., Бауэр С.М., Котляр К.Е. Биомеханика глаза: теоретические аспекты и клинические приложения. – М.: Реал Тайм, 2015. – Т. 208.
28. Забродин Ю.М., Лебедев А.Н. Психофизиология и психофизика. – М.: Наука, 1977.
29. Забродин Ю.М., Фришман Е.З., Шляхтин Г.С. Особенности решения человеком сенсорных задач. – М.: Наука, 1981.

# ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ НЕФТЕДОБЫВАЮЩИХ ТЕРРИТОРИЙ ТОМСКОЙ ОБЛАСТИ С ПРИМЕНЕНИЕМ СПУТНИКОВЫХ ДАННЫХ

*Н.П. Бондарев, студент*

*Научный руководитель Т.О. Перемитина, к.т.н., доцент каф. АОИ  
г. Томск, ТУСУР, peremitinat@mail.ru*

Современное обеспечение актуальной, оперативной и статистической информацией об экологическом состоянии окружающей среды создает основу для принятия важных решений в процессе контроля ее состояния. Воздействие нефтегазового комплекса на природную среду настолько усилилось, что существующие наземные методы слежения за её состоянием перестали удовлетворять современным требованиям учета ресурсов биосферы и управления ее развитием. Использование данных спутникового дистанционного зондирования Земли (ДДЗ) позволяет обеспечить практически непрерывный мониторинг атмосферы, земной и водной поверхностей, что, несомненно, является актуальной задачей.

Объектом исследования в представленной работе является растительность нефтедобывающих территорий Томской области. Известно, что площадь Томской области равна 314,4 тыс. км<sup>2</sup>, причем леса занимают 68,3% от общей площади. В последнее время Томская область набирает темп в промышленном отношении, что сопровождается ухудшением экологической обстановки. Согласно данным территориального органа Федеральной службы государственной статистики, в 2015 г. в атмосферный воздух Томской области поступили выбросы загрязняющих веществ с более 1200 промышленных площадок, а максимальный вклад в валовый выброс принадлежит предприятиям нефтегазодобывающего комплекса.

Целью настоящей работы является рассмотрение примеров практического применения методики количественной оценки состояния растительного покрова исследуемых территорий. Предложенная методика основана на использовании данных спутниковых наблюдений MODIS и ГИС-технологий для оперативного мониторинга состояния окружающей среды нефтедобывающих территорий. Спутниковые данные позволяют проводить мониторинг состояния растительности исследуемых территорий путем расчета значений нормализованного вегетационного индекса (NDVI). Вегетационный индекс – показатель, который рассчитывается по формуле

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED},$$

где RED – спектральная яркость в красной зоне спектра; NIR – спектральная яркость в ближней инфракрасной зоне спектра. Анализ значений NDVI позволяет выявить проблемные зоны с угнетенным состоянием, давая возможность принимать наиболее верные решения, направленные на улучшение экологического состояния ландшафта. При помощи статистической обработки ретроспективных данных о значениях индекса NDVI помимо определения зон с угнетенной растительностью можно дополнительно определять изменения объемов фитомассы на исследуемой территории.

Применение разработанной методики, основанной на расчете вегетационного индекса NDVI, позволило провести количественную оценку воздействия различных факторов на растительность нефтегазодобывающих территорий [2]. Методика предполагает на первом шаге формирование коллекции спутниковой информации на одну и ту же исследуемую территорию. На следующем шаге выполняется предварительная обработка спутниковой информации и предполагается проведение атмосферной коррекции спутниковых изображений. При проведении исследований для одной и той же территории и использовании снимков с одинаковой датой съемки (день и месяц) появляется высокая вероятность включения в анализ снимков с облачностью и тенями от нее, что не позволяет одновременно изучить всю исследуемую территорию. Поэтому на данном шаге используются функциональные возможности геоинформационной системы ArcGis 10.2.2 для построения безоблачных композитных изображений на область исследования. На последнем шаге методики производится расчёт среднего значения NDVI для исследуемых территорий. Расчеты осуществляются с помощью инструмента «Зональная статистика по таблицам» средствами геоинформационной системы ArcGis 10.2.2. Для расчетов необходимо выбрать растровый слой (снимок), полигональный слой (исследуемой территории) над которым будет производиться расчёт, а также тип нужной статистики.

В результате проделанных шагов получаем таблицу со средними значениями индекса NDVI для исследуемых территорий за анализируемый период. Исследуемой территорией может являться любой выделенный полигон, преобразованный в векторный слой, это может быть как территория города, так и территория заповедника или производного участка леса. В данной работе анализировалось состояние растительного покрова территории нефтегазоносных месторождений Томской области в июне 2015 и 2016 гг.

Временной период диагностики состояния растительного покрова напрямую связан с первым шагом – формированием коллекции спут-



никовых данных. Можно исследовать как 16-дневные изменения состояния растительного покрова территории за один и тот же год. Также можно проводить анализ многолетних изменений и тогда необходимо подобрать снимки на одну и ту же территорию с близкими или одинаковыми датами съемки (день и месяц), но за разные годы.

**Значения NDVI для исследуемых территорий**

Месторождения	Снимок от 21.06.2015	Снимок от 26.06.2016
Мыльджинское	0,703695	0,646295
Лугинецкое	0,728361	0,644987
Западно-Лугинецкое	0,703455	0,664698
Ломовое	0,695688	0,411507

Как видно из таблицы, максимальное значение вегетационного индекса соответствует состоянию растительного покрова Лугинецкого месторождения в 2015 г. Стоит отметить, что для всех исследуемых территорий тенденция изменения значений индекса однотипна – высокие значения в 2015 г. и минимальные значения – в 2016 г. Проведенный анализ позволил определить угнетенное состояние растительности территории Ломового месторождения в 2016 г., а также выявить ухудшение со временем экологического состояния растительности всех исследуемых территорий. Таким образом, из приведенного примера можно заключить, что применение спутниковых данных и ГИС-технологий позволило проанализировать состояние растительного покрова труднодоступных нефтедобывающих территорий Томской области.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Вегетационные индексы: основы, формулы, практическое использование [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://mapexpert.com.ua/index\\_ru.php?id=20&table=news](http://mapexpert.com.ua/index_ru.php?id=20&table=news)
2. Яценко И.Г., Перемитина Т.О., Днепровская В.П. Мониторинг состояния растительного покрова нефтедобывающих территорий Томской области с применением спутниковых данных // Геоинформатика. – 2017. – № 3. – С. 26–33.

### **ВИДОВОЕ РАЗНООБРАЗИЕ РАКОВИННЫХ АМЕБ ПРИ ДЕЙСТВИИ БЕНЗИНА**

*Е.В. Кулюкина, аспирант каф. РЭТЭМ*

*Научный руководитель А.Г. Карташев, проф. каф. РЭТЭМ, д.б.н.  
г. Томск, ТУСУР, kuljukinaelena@rambler.ru*

Раковинные амёбы относятся к группе устойчивых простейших, которые распространены повсеместно. Загрязнение почв нефтью и

нефтепродуктами оказывает длительное негативное влияние на почвенных животных [1]. Целью настоящей работы являлось исследование влияния бензина на сообщества раковинных амёб в серолесных почвах. В результате исследования установлено снижение численности и видового разнообразия сообществ раковинных амёб при внесении различной концентрации бензина в почву.

Исследования проводились в естественных условиях в течение семи месяцев с концентрациями внесения бензина: 50, 100, 200 г/кг почвы при параллельном контроле. Порядок проведения отбора проб почвы и анализ численности раковинных амёб и видового состава проводился по стандартным методикам [2–8].

Видовой спектр раковинных амёб в зависимости от разной концентрации бензина неоднороден. Основное количество видов раковинных амёб в естественных условиях исследования составили представители семейств *Centropyxidae Jung* – до пяти видов и *Hyalospheniidae Schulze* – до четырех видов, остальные семейства представлены по одному-два вида.

Раковинки обнаруженных видов раковинных амёб относятся к 5 морфологическим типам, имеющим как однокамерное строение раковинки, так и двухкамерное, обуславливающее дополнительную изоляцию цитоплазмы относительно внешней среды. К акростомному типу относятся раковинные амёбы с терминально расположенным устьем при осевой симметрии с возможным латеральным сжатием: *Euglypha anodonta*, *Nebela dentistoma*, *Nebela militaris*, *Nebela lageniformis*, *Nebela collaris*, *Euglypha laevis*. Плагиостомный тип характеризуется эксцентричным расположением раковинки на вентральной стороне и полость не разделена на брюшко и козырек: *Chlamydophrys minor*, *Cryptodiffugia compressa*, *Centropyxis vandeli*, *Trinema lineare*, *Trinema complanatum*, *Centropyxis aerophila*. К циклостомному типу относятся *Phryganella acropodia*, *Cyclopyxis arcelloides*, *Cyclopyxis eurystoma*, имеющие сферическую или полусферическую форму с уплощенной центральной поверхностью и центрально расположенным устьем. К криптостомному типу относятся раковинные амёбы, имеющие щелевидные, эксцентрично расположенные на вентральной подошве псевдостомы, прикрытые выступами дорзальной стенки, – *Plagiopyxis glyphostoma*.

Изменение видового разнообразия раковинных амёб при внесении различной концентрации бензина в период исследований представлено в таблице.

В серолесных почвах в течение весенне-осеннего периода наблюдалось 16 видов раковинных амёб: *Euglypha anodonta*, *Chlamydo-*

*phrys minor*, *Phryganella acropodia*, *Cryptodiffugia compressa*, *Cyclopyxis arcelloides*, *Nebela dentistoma*, *Nebela militaris*, *Nebela lageniformis*, *Nebela collaris*, *Centropyxis vandeli*, *Plagiopyxis glyphostoma*, *Cyclopyxis eurystoma*, *Euglypha laevis*, *Trinema lineare*, *Trinema complanatum*, *Centropyxis aerophila*, представленных 9 родами: *Euglypha*, *Chlamydophrys*, *Phryganella*, *Cryptodiffugia*, *Nebela*, *Centropyxis*, *Plagiopyxis*, *Cyclopyxis*, *Trinema*.

**Изменение видового состава раковинных амёб при внесении различной концентрации бензина в период исследований**

Виды раковинных амёб	Концентрации растворов г/кг				Особенности строения	
	0	50	100	200	Морфотип	Раковинка
<i>Euglypha anodonta</i>	+	+	+	+	Акс*	Однокамерная
<i>Chlamydophrys minor</i>	+	+	+		Плк*	Однокамерная
<i>Phryganella acropodia</i>	+	+	+	+	Ц*	Однокамерная
<i>Cryptodiffugia compressa</i>	+	+			Плк*	Однокамерная
<i>Cyclopyxis arcelloides</i>	+	+	+	+	Ц*	Двухкамерная
<i>Nebela dentistoma</i>	+	+	+	+	Акс*	Однокамерная
<i>Nebela militaris</i>	+	+	+		Акс*	Однокамерная
<i>Nebela lageniformis</i>	+	+	+		Акс*	Однокамерная
<i>Nebela collaris</i>	+	+			Акс*	Однокамерная
<i>Centropyxis vandeli</i>	+	+	+	+	Плк*	Двухкамерная
<i>Plagiopyxis glyphostoma</i>	+	+	+	+	Крк*	Двухкамерная
<i>Cyclopyxis eurystoma</i>	+	+	+	+	Ц*	Двухкамерная
<i>Euglypha laevis</i>	+	+	+	+	Акр*	Однокамерная
<i>Trinema lineare</i>	+	+	+		Плк*	Однокамерная
<i>Trinema complanatum</i>	+	+			Плк*	Однокамерная
<i>Centropyxis aerophila</i>	+	+	+	+	Плк*	Двухкамерная

Примечание. \*Акс – акростомный сжатый; Плк – плагиостомный простой; Ц – центростомный; Крк – криптостомный с козырьком.

Доминирующими по численности являлись виды *Phryganella acropodia*, *Cyclopyxis arcelloides*, *Nebela dentistoma*, *Centropyxis vandeli*, *Plagiopyxis glyphostoma*, *Cyclopyxis eurystoma*, *Centropyxis aerophila*. К субдоминантам можно отнести *Euglypha anodonta*, *Euglypha laevis*, *Trinema lineare*. К малочисленным видам относятся *Chlamydophrys minor*, *Cryptodiffugia compressa*, *Nebela militaris*, *Nebela lageniformis*, *Nebela collaris*, *Trinema complanatum*.

Таким образом, на основании проведенных исследований по хроническому влиянию бензина на сообщества раковинных амёб установлено снижение численности и видового разнообразия тестаций в зависимости от концентрации бензина.

Установлено сокращение видового разнообразия сообществ раковинных амёб: при концентрациях бензина равных 100 г/кг, – в пределах 3 видов, при концентрации, равной 200 г/кг, – 7 видов.

Выявлены неустойчивые к бензину виды одноклеточных амёб: *Chlamydomonas minor*, *Cryptodiffugia compressa*, *Nebela militaris*, *Nebela lageniformis*, *Nebela collaris*, *Trinema complanatum*, *Trinema complanatum*.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Карташев А.Г. Экологические аспекты нефтедобывающей отрасли Западной Сибири. – Томск: ТУСУР, 2007. – 218 с.
2. Государственный стандарт Союза ССР. Почвы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.vashdom.ru/gost/26423-85> (дата обращения: 30.11.2017).
3. Гельцер Ю.Г., Корганова Г.А., Алексеев Д.А. Почвенные раковинные амёбы и методы их изучения. – М.: Наука, 1985. – 79 с.
4. Агротехнические методы исследования почв. – М.: Наука, 1965. – 436 с.
5. Bonnet L., Thomas R. Thécamoebiens du sol // Vie et Milieu. Suppl. – 1960. – № 5. – P. 1–113.
6. Lechowicz M., Bell G. The ecology and genetics of fitness of forest plants. II. Microspatial heterogeneity of the edaphic environment // Journal of Ecology. – 1991. – Vol. 79. – P. 687–696.
7. Ettema Ch., Wardle D. Spatial soil ecology // Trends in ecology and evolution. – 2002. – Vol. 17. – P. 177–183.
8. Bonnet L. Types morphologiques, ecologie et evolution de la thegue chez les Thecamoebiens // Protistologica. – 1975. – Vol. 11, №3. – P. 303–378.

### СПОСОБЫ ЗАЩИТЫ ОТ ВОЗДЕЙСТВИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ШУМА НА ТРУДОСПОСОБНОСТЬ ЧЕЛОВЕКА

*Р.А. Кусаинов, М.А. Монгуш, студенты*

*Научный руководитель А.Ю. Олисовец, инженер каф. РЭТЭМ  
г. Томск, ТУСУР, каф. РЭТЭМ, fun\_ruslan1995@mail.ru  
Проект ГПО РЭТЭМ-1805 «Исследование уровня шума  
на производственных и учебных объектах»*

В настоящее время в связи с развитием автоматизированного оборудования, его масштабируемости на объектах производства различного назначения работодателями часто пренебрегается защита персонала от производственного шума.

**Производственный шум** – это совокупность звуков различной частоты и интенсивности, которые возникают в процессе производства и негативно влияют на организм человека.

Целью является изучение способов защиты от шума на производственных предприятиях.

Уровень шума определяется по формуле (1):

$$L_{\Sigma} = 10 \lg \sum_{i=1}^{i=n} 10^{0,1L_i}, \quad (1)$$

$n$  – число источников шума;  $L_i$  – уровень звукового давления  $i$ -го источника шума.

При повышенном уровне шума орган слуха вынужден приспосабливаться к таким условиям, и его чувствительность снижается. При большем уровне шума, или при более длительном воздействии восстановление происходит неполностью, и порог слышимости начинает возрастать (таблица).

#### Снижение чувствительности органов слуха человека

Степень потери слуха	В области речевых частот	На частоте 4000 Гц
I степень (легкое снижение слуха)	10–20 дБ	20–60 дБ
II степень (умеренное снижение слуха)	21–30 дБ	20–65 дБ
III степень (значительное снижение слуха)	31–45 дБ	20–78 дБ

Снижение слуха зависит от дозы шумового воздействия – т.е. от того, сколько длилось общее воздействие шума на организм, включая периоды отдыха и сна, стаж работы и интенсивность шума (рис. 1). Повышенный уровень шума, действуя на рабочего после смены, также увеличивает риск ухудшения слуха.

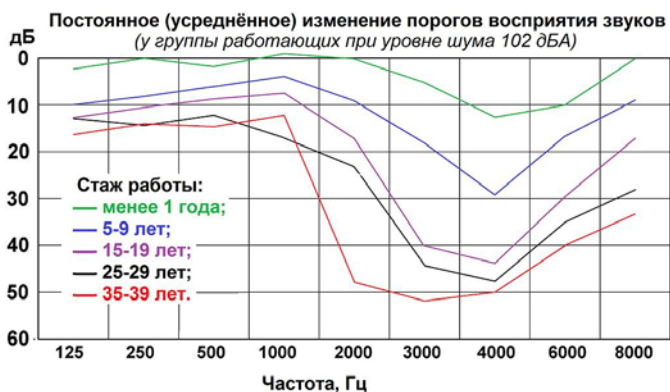


Рис. 1. Степень ухудшения слуха в зависимости от интенсивности шума, стажа работы и стажа работы рабочего

У людей, работающих в условиях воздействия интенсивного шума, чаще наблюдаются гипертоническая болезнь сердца, стенокардия, инфаркт миокарда. Как правило, жалобы на боли в сердце, сердечбиение и перебои обычно возникают не при физической нагрузке, а в покое и при нервно-эмоциональном напряжении. При увеличении уровня шума на 1 дБА скорость прироста потерь слуха в 3 раза выше, чем нервно-сосудистых нарушений, и они составляют 1,5% на каждый децибел уровня воздействующего шума.

Для снижения шума на производственных объектах существуют методы и мероприятия разного характера:

- Рациональное размещение оборудования и помещений для персонала (архитектурно-планировочные методы).
- Снижение уровня шума в самом источнике.
- Средства индивидуальной защиты.

При помощи архитектурно-планировочных методов применяются: удаление цехов с большим уровнем шума от производственных помещений с персоналом, планирование режима работы шумного оборудования.

Для снижения уровня шума в самом источнике используется кожух с звукопоглощающей облицовкой изнутри и изолированный от вибрации основания.

В случае когда вышеперечисленные методы не обеспечивают должного снижения уровня шума, используются средства индивидуальной защиты: ушные вкладыши; наушники, закрывающие ушную раковину; противοшумные шлемы.

В некоторых случаях снижение уровня шума достигается применением звукопоглощающих пористых материалов, покрытых перфорированными листами алюминия, пластмасс. При необходимости повышения коэффициента звукопоглощения величина, характеризующая звукопоглощающее свойство материала, рассчитывается по формуле

$$A_{зв} = \frac{E_{\text{погл}}}{E_{\text{пад}}}, \quad (2)$$

где  $A_{зв}$  – коэффициент звукопоглощения;  $E_{\text{погл}}$  – поглощенная звуковая волна;  $E_{\text{пад}}$  – падающая звуковая волна.

$$E_{\text{погл}} = E_{\text{рас}} + E_{\text{прош}},$$

$E_{\text{рас}}$  – звуковая волна, рассеянная в материале;  $E_{\text{прош}}$  – звуковая волна, прошедшая материал.

В области высоких частот звукоизолирующие слои покрывают защитной оболочкой с мелкой и частой перфорацией, применяют также штучные звукопоглотители, которые имеют форму конусов,

кубов, закрепленных над оборудованием, являющимся источником повышенного шума. Большое значение в борьбе с шумом имеют архитектурно-планировочные и строительные мероприятия.

В настоящее время шум остается серьёзной проблемой на производственных предприятиях, негативно влияя на производительность и здоровье человека. Однако, используя современные методы борьбы с шумом, такие как использование средств индивидуальной защиты, защитных покрытий и замены технологий производства, можно минимизировать и устранить влияние шума.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Суворов Г.А., Лихницкий А.М. Импульсный шум и его влияние на организм человека. – Л., 1975.
2. Кондратьев А.И., Местечкина Н.М. Охрана труда в строительстве. – М., 1990.
3. Коэффициент поглощения – что это? [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://batis.ru/kompaniya/eto-interesno/34-koeffitsient-zvukovogo-pogloshcheniya-cto-eto/> (дата обращения: 8.03.2018).
4. Допустимые уровни в производственных помещениях [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.yusto.ru/articles/okhrana-truda/101-gost-121003-83-dopustimye-urovni-shumov-v-proizvodstvennykh-pomeshcheniyakh/> (дата обращения: 9.03.2018).

### **ВЛИЯНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ОСВЕЩЕНИЯ ПРИ ПРЕДПОСЕВНОЙ ОБРАБОТКЕ СЕМЯН НА РОСТ ТОМАТОВ**

***Н.Н. Саликова, студентка***

*Научный руководитель Е.Г. Незнамова, доцент каф. РЭТЭМ, к.б.н.  
г. Томск, ТУСУР, каф. РЭТЭМ, [nadyushkans@yandex.ru](mailto:nadyushkans@yandex.ru)*

При выращивании растений важную роль играют освещение и предпосевная обработка семян, поскольку от этого зависит качество и продуктивность урожая. Оптимальность развития зависит не только от уровня освещенности и длительности светового дня, но и от спектра искусственного источника света. При правильно подобранных характеристиках источника света и методе предпосевной обработки уменьшается срок созревания плодов и увеличивается уровень производительности и качества продукции [1–3].

Целью работы являлась оптимизация светового режима предпосевной обработки при выращивании томатов.

Достижение поставленной цели требует решения следующих задач:

- выявить оптимальный режим предпосевной обработки семян томатов посредством облучения длинами волн красного спектра;
- провести эксперимент по выращиванию томатов под световыми потоками различного спектрального состава в сочетании с различными режимами облучения;
- проанализировать полученные результаты и выявить оптимальные условия роста и развития растений томатов.

Объект исследования – томаты сорта «Северная малютка», ультраскороспелое, штамбовое, низкорослое растение универсального назначения, высотой до 40 см. Вегетационный период 80–85 дней. Для эксперимента используются светодиодные светильники производства ЗАО «Физтех-энерго», включающие в себя группы светодиодов с повышенным индексом цветопередачи и группы фито-светодиодов, разработанных специально для выращивания растений в условиях недостаточной освещенности. Предпосевная обработка семян томата проводилась с помощью облучения аппаратом красного и инфракрасного диапазона «Дюна-Т».

Для создания оптимальных условий выращивания объекта исследования была разработана методика по технологии предпосевной обработки семян и выращивания томатов под различным спектральным составом искусственного освещения, основанная на проведенном литературном анализе.

Для эксперимента использовались 5 пластиковых емкостей. Емкости до краёв заполняются землёй (используется универсальный грунт – «Тerra vita»). Перед посадкой по 50 семян томатов облучались в течение 10 и 30 минут светодиодным матричным аппаратом «Дюна-Т».

Эксперимент проводился без участия естественного освещения. Исследовали четыре группы растений: № 1–4. Первую группу растений с длительностью предпосевого облучения 10 мин и вторую группу растений с длительностью облучения 30 мин поместили под светильник с доминантной длиной волны 510 нм, визуально дающий красно-фиолетовое освещение. Третью группу растений с длительностью предпосевого облучения 10 мин и четвертую группу растений с длительностью облучения 30 мин разместили под светильник с доминантной длиной волны 580 нм, цветность лампы приближалась к белому свету [4]. Для предотвращения рассеивания света и изоляции от внешних факторов освещения светоизлучающие установки были обернуты тёмной тканью. Длительность эксперимента составила 49 дней.

В качестве критерия оценки биологической эффективности световых потоков были взяты такие биометрические показатели расте-



ний, как количество листьев, высота растения, диаметр розетки листьев, их длина и ширина. Замеры проводились раз в неделю. Полученные значения заносились в протокол измерений. Статистические данные по высоте стебля растения и диаметру розетки листа представлены в табл. 1 и 2.

Таблица 1

**Среднестатистические значения высоты стеблей томатов**

Дата измерения	1-я группа, см	2-я группа, см	3-я группа, см	4-я группа, см	Контроль, см
16.11.2017	3,6±015	3,8±04	3,3±029	3±021	2,9±007
23.11.2017	5,4±029	4,7±051	4,8±04	3,9±026	3,7±023
30.11.2017	7±034	7±034	6,8±038	6±025	5,8±025
07.12.2017	9,6±033	9±039	8,9±038	8±025	7,5±03
14.12.2017	11,7±032	11±04	11±041	10±025	9,8±023

Анализ данных, представленных в табл. 1, позволил считать, что наблюдается ускорение роста стеблей относительно контрольных условий. Наиболее выраженный эффект роста наблюдался в группе растений № 1, облученных 10 мин и выращенных под лампами с длиной волны 510 нм, менее выраженный эффект наблюдался у группы растений № 4 с длительностью облучения 30 мин и выращенных под светодиодами с длиной волны 580 нм.

Таблица 2

**Среднее значение диаметра розетки листьев томатов**

Дата измерения	1-я группа, см	2-я группа, см	3-я группа, см	4-я группа, см	Контроль, см
16.11.2017	6±03	5±044	4,5±038	4,3±027	3,9±034
23.11.2017	6,6±033	6,7±057	6±048	5,7±028	5±04
30.11.2017	8±048	8±0,48	7,9±046	7,6±017	7,2±027
07.12.2017	11±034	9,9±034	10±044	9,8±027	9,4±025
14.12.2017	12,5±033	11,9±033	12,5±038	11,7±027	11,3±033

Анализ данных, представленных в табл. 2, выявил, что диаметр розетки листьев томата превышает размеры контрольных розеток. Наиболее крупные розетки наблюдались у группы растений №1 с длительностью облучения 10 мин под светодиодами с длиной волны 510 нм.

Следовательно, по результатам эксперимента, первая группа растений с длительностью облучения 10 мин, выращенная под лампой с доминантной длиной волны 510 нм, показала самые высокие средние значения по всем показателям: средняя высота растений, диаметр ро-

зетки листьев, длина и ширина листьев. Минимальные значения показала четвертая группа растений с длиной волны 580 нм, длительность облучения 30 мин.

В качестве практических рекомендаций можно использовать свет с длиной волны 510 нм при предпосевной обработке томатов длительностью 10 мин.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Avercheva O.V., Berkovich Yu.A., Erokhin A.N. et al. Growth and photosynthesis of Chinese cabbage plants grown under light-emitting diode-based light source // Russian Journal of Plant Physiology. – January 2009. – Vol. 56, Is. 1. – P. 14–21.

2. Александрова С.Н., Кудайбергенова Ж.Д., Рыбакова А.А., Незнамова Е.Г. Рост и развитие томатов при искусственной подсветке разными типами ламп // Всерос. науч. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых. – 2015.

3. Туев В.И., Незнамова Е.Г., Солдаткин В.С., Хомяков А.Ю. Применение светодиодного освещения на разных стадиях выращивания культурных растений // Физика и технология наноматериалов и структур: сборник науч. статей 2-й Междунар. науч.-практ. конф. 24–26 ноября 2015 г. / Юго-Зап. гос. ун-т: в 2 т. – Курск: ЗАО «Университетская книга», 2015. – Т. 2. – С. 161–166.

4. Цветовая температура (К) и индекс цветопередачи (CRI) / Pulsar [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://pulsarelectric.com/support/tsvetovaya-temperatura-i-indeks-tsvetoperedachi.php> (дата обращения: 14.01.2017).

## КОЭФФИЦИЕНТЫ САМОУШИРЕНИЯ ДЛЯ МОЛЕКУЛЫ SO<sub>2</sub>

*Е.А. Шевченко, студентка*

*Научный руководитель Б.А. Воронин, доцент каф. АСУ, к.ф.-м.н.*

*г. Томск, каф. АСУ, ТУСУР, ИОА СО РАН, vba\_iao@mail.ru*

Настоящее исследование посвящено оценкам коэффициентов самоуширения линий основной изотопической модификации диоксида серы <sup>32</sup>S<sup>16</sup>O<sub>2</sub>. За основу были взяты экспериментальные данные. Необходимо отметить, что в БД GEISA-2015 параметр самоуширения <sup>32</sup>S<sup>16</sup>O<sub>2</sub> равняется 0,400 см<sup>-1</sup>/атм, т.е. для всех переходов имеет постоянное значение.

**Результат работы.** Все выбранные данные перехода для молекулы <sup>32</sup>SO<sub>2</sub> имеют квантовую идентификацию – вращательные квантовые числа ( $J', K_a', K_c', J'', K_a'', K_c''$ ) и колебательные квантовые числа ( $v'_1, v'_2, v'_3, v''_1, v''_2, v''_3$ ) верхних и нижних уровней энергии переходов. Таблица с данными не представлена в данной статье, так как имеет внушительный объем (323 линии).

Методами регрессионного анализа (вычисление корреляции) были определены квантовые числа, сильно влияющие на уширение молекулы  $\text{SO}_2$ . Ниже приведен список всех вычислений и полученные значения (по модулю). У молекулы  $\text{SO}_2$  есть только 2 типа симметрии: 12 и 21. Таким образом, возможные переходы с нижнего уровня 12 на верхний 21 и наоборот. Симметрия для всех уровней была подсчитана, чтобы оценить, будет ли она коррелировать с самоуширением или нет.

1. Корреляция  $v'_1$  и  $\gamma\text{-self} = 0,075658703$ .
- 2. Корреляция  $v'_2$  и  $\gamma\text{-self} = 0,019609267$ .**
3. Корреляция  $v'_3$  и  $\gamma\text{-self} = 0,413501291$ .
- 4. Корреляция  $v''_2$  и  $\gamma\text{-self} = 0,019609267$ .**
5. Корреляция  $J'$  и  $\gamma\text{-self} = 0,296075881$ .
6. Корреляция  $K'_a$  и  $\gamma\text{-self} = 0,822610802$ .
7. Корреляция  $K'_c$  и  $\gamma\text{-self} = 0,042341337$ .
8. Корреляция  $J''$  и  $\gamma\text{-self} = 0,290271247$ .
9. Корреляция  $K''_a$  и  $\gamma\text{-self} = 0,822794771$ .
10. Корреляция  $K''_c$  и  $\gamma\text{-self} = 0,059654814$ .
- 11. Корреляция  $S$  и  $\gamma\text{-self} = 0,124833018$ .**

Базируясь на полученных значениях, мы можем сделать вывод что параметры  $v'_2$ ,  $v''_2$  и  $S$  являются незначимыми, соответственно не будут использоваться при построении модели (для удобства строки с параметрами  $v'_2$ ,  $v''_2$  и  $S$  были выделены курсивом). Далее, используя тот же метод регрессионного анализа, была вычислена корреляция между оставшимися параметрами.

12. Корреляция ( $J'$  и  $J''$ ) = 0,999069702.

Так как  $J'$  и  $J''$  имеют большую корреляцию, практически равную единице, то брать их для построения модели вместе нельзя. Поэтому мы используем тот параметр, у которого получилась большая корреляция с  $G\text{-self}$ , т.е.  $J'(0,296075881)$ .

13. Корреляция ( $K'_a$  и  $K''_a$ ) = 0,995248084.

14. Корреляция ( $K'_c$  и  $K''_c$ ) = 0,99643214.

В данном случае мы поступаем аналогично, так как корреляция между параметрами очень большая, то использовать их вместе для построения модели нельзя, поэтому мы оставим только  $K''_a(0,82279)$  и  $K''_c(0,059655)$ .

Для построения модели был употреблен метод расчета статистики для ряда с применением метода наименьших квадратов, чтобы вычислить прямую линию, которая наилучшим образом аппроксимирует имеющиеся данные, а затем возвращает массив, который описывает полученную прямую. Напомним, что параметры, которые мы будем

использовать, – это  $\nu_1$ ,  $\nu_3$ ,  $J'$ ,  $K_a''$  и  $K_c''$ . Итогом является вычисленная формула, которую мы и будем применять для построения экспериментальных данных.

$$\gamma\text{-self} = 0,414943 + 0,016606 * \nu_1 + 0,00532 * \nu_3 - 0,00804 * J' - 0,00344 * K_a'' + 0,007868 * K_c''.$$

Также были построены графики  $\gamma\text{-self}$  (из литературы) и  $\gamma\text{-self}$  (our exp – наш расчет) от  $J'$ , где наглядно видно, что отклонение  $\gamma\text{-self}$  (our exp) от  $\gamma\text{-self}$  (from articles) удовлетворительное (рис. 1).



Рис. 1. Сравнение  $g(\gamma)\text{-self}$  (экспериментальные данные из литературы) и  $(\gamma)\text{-self}$  (наши оценки)

**Выводы.** Наша модель удовлетворительно работает на всей области экспериментальных значений параметра самоуширения  $\text{SO}_2$ . В продолжении работы необходимо исследовать применение модели для расчета значений  $g\text{-self}$  на больший диапазон значений  $J'$  и оценить возможности экстраполяции. Кроме того, необходимо провести новую оценку для всех данных параметра контура в БД GEISA.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Sumpf B., Schone M., Kronfeldt H.-D., Self- and Air-Broadening in the  $\nu_3$  Band of  $\text{SO}_2$  // J. of Molec. Spectrosc. – 1996. – Vol. 179. – P. 137–141.
2. Sumpf B. Experimental investigation of the self-broadening coefficients in the  $\nu_1/\nu_3$  band of  $\text{SO}_2$  and the  $2\nu_2$  band of  $\text{H}_2\text{S}$  // J. of Molec. Spectrosc. – 1997. – Vol. 181. – P. 160–167.
3. Sumpf B., Fleischmann O., Kronfeldt H.-D. Self-, Air- and Nitrogen-Broadening in the  $\nu_1$  Band of  $\text{SO}_2$  // J. of Molec. Spectrosc. – 1996. – Vol. 176. – P. 127–132.
4. Sumpf B. Line intensity and self-broadening investigations in the  $\nu_1$  and  $\nu_3$  bands of  $\text{SO}_2$  // J. of Molec. Structure/ – 2001. – Vol. 599(1-3). – P. 39–49.
5. Joly L., Zeninari V., Parvitte B., et al. Spectroscopic study of the  $\nu_1$  band of  $\text{SO}_2$  using a continuous-wave DFB QCL at  $9.1 \mu\text{m}$  // Appl. Phys. B. – 2003. – Vol. 77. – P. 703–706.

## **ВЛИЯНИЕ ЖЕЛТОГО ИСКУССТВЕННОГО ОСВЕЩЕНИЯ НА РАЗВИТИЕ РЫБ**

*М.Г. Слепцов, студент; А.П. Шкаруно, аспирант*

*Научный руководитель А.Г. Карташев, д.б.н., проф. каф. РЭТЭМ*

Исследования влияния света на рыб представляют теоретический и практический интерес, т.к. позволяют выявить функциональные возможности организма в целом, отдельных его систем и использовать данные в технологическом процессе при выращивании рыбы в искусственных условиях [1]. В настоящей статье рассматриваются результаты исследований влияния светодиодов с желтым спектром на показатели роста аквариумных рыб вида *Danio rerio*. Целью исследований являлось изучение влияния света на развитие и рост аквариумных пород рыб.

В работе представлена опытная группа аквариумных рыб данио розовый, которые относятся к семейству карповых (*Cyprinidae*). Размер данио розового 4,5–5 см. Продолжительность жизни около трех лет, при хорошем содержании – до пяти лет [2] Личинки появляются примерно через 3–4 сут после нереста. Мальки плывут на 7-е сут. Мальки данио розового быстро растут и уже к третьему месяцу достигают размера взрослых рыб [2, 3].

Для эксперимента икру получали от одной пары рыб. Мальков отсаживали по 5 шт. в 2 аквариума объемом 10 л с одинаковой температурой воды 26–27 °С. В исследовании влияния света на рыб в освещении использовались светодиодные лампы с желтым спектром, погруженным в воду. При этом в самом аквариуме создана «темнота» с помощью максимального затемнения его стенок. Фотопериод в таком спектре составлял 8 ч светового дня и 12 ч ночного. Контрольная группа находилась под естественным освещением. Измерения проводились один раз в неделю с помощью миллиметровой бумаги. Продолжительность эксперимента составила 35 дней.

Проанализировав полученные графики среднего значения роста рыб (рис. 1), видим, что рост опытной группы медленнее, чем в контроле. Также наблюдалось неполноценное развитие рыб. Темп роста в контрольной группе составил шестнадцать процентов, в опытной группе – одиннадцать процентов. Из графика выживаемости (рис. 2) мы видим, что желтый спектр отрицательно влияет на выживаемость и развитие рыб.

По результатам эксперимента группа рыб, выращенных под светодиодным освещением желтого спектра, показала худшие средние значения по росту и развитию особей. Описанный эксперимент пока-

зал, что при освещении светоизлучающими конструкциями желтого спектра выживаемость рыб снижается почти на 50%.

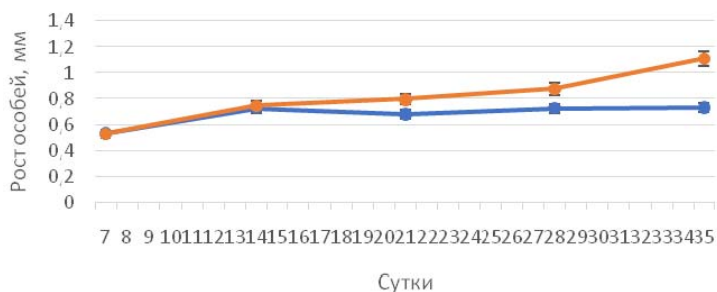


Рис. 1. Средние значения роста

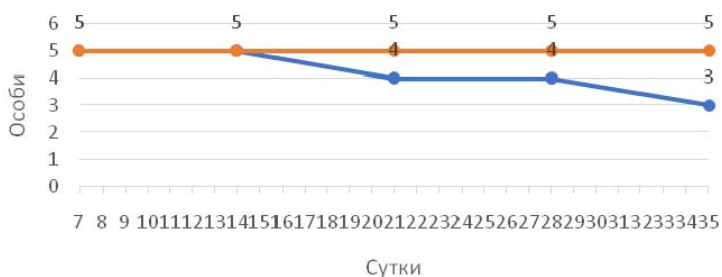


Рис. 2. Выживаемость особей

## ЛИТЕРАТУРА

1. Ручин А.Б. Влияние света на рост, питание и интенсивность дыхания молоди серебряного карася (*Carassius auratus gibelio*) // Изв. высш. учеб. завед. Поволжский регион. Естественные науки. – 2006. – № 5. – С. 282–285.
2. Размножение и развитие данио розовый [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://fanfishka.ru/akvariumnye-stati/599-danio-rozovyy.html>
3. Данио рерио розовый [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://tvoy-akvarium31.ru/index.php/fish/2012-01-06-12-58-03/2012-02-07-17-33-37/1394-danio-rierio-rozovyj-transgennyie-danio-mutant-danio-rierio-glofish>

**ВЫЖИВАЕМОСТЬ УЛИТОК МАРИЗА  
(MARISA CORNUARIETIS)  
В ЗАГРЯЗНЕННЫХ БЕНЗИНОМ ВОДОЕМАХ**

**В.В. Суло, студент; А.П. Шкаруно, аспирант**

*Научный руководитель А.Г. Карташев, д.б.н., проф. каф. РЭТЭМ*

Моллюски высокочувствительны к загрязнению вод токсикантами и принимают активное участие в аккумуляции и переносе химических веществ в водоемах. Сообщества моллюсков можно рассматривать в качестве биоиндикаторов изменений, происходящих в водной среде под влиянием загрязнителей [1]. Загрязнения нефтью водоемов Западной Сибири стимулировало проведение исследований по влиянию нефтезагрязнений на пресноводных моллюсков [2].

Объектом исследования являлись пресноводные моллюски вида *marisa cornuarietis* и их развитие. Исследования проводили на моллюсках вида марица (*Marisa cornuarietis*) [3]. Представители вида распространены в пресноводных водоемах Северной, Южной и центральной Америки, в том числе Боливии, Бразилии, Колумбии. Раковина улитки окрашена в бледновато-желтый или коричневатый цвет и имеет 3–4 завитка. Большие марицы могут достигать 5 см. Передвижение осуществляется с помощью плоской широкой ноги [4]. Нерестится улитка марица на глубине или возле поверхности воды с нижней стороны широкого листа растения. Икринки имеют белесый цвет и довольно крупный размер – около 2 мм в диаметре. Кладка хаотичная. Количество икринок в кладке – до 100 шт. [5]. Марицы – всеядные, едят практически все, с чем сталкиваются на своем пути: любые корма, наросты на камнях, мертвые рыбы, растения.

Исследования по влиянию бензина на выживаемость и развитие моллюсков проводились в лабораторных условиях на фоне естественной суточной ритмики температурного режима и освещенности. Опытная группа моллюсков содержалась в воде с концентрацией бензина 0,5 и 1 мл/л при параллельном контроле.

На 10-й минуте после повышения концентрации бензина 0,5 и 1 мл/л увеличилась дыхательная активность моллюсков, наблюдалось повышение потребности кислорода, что стимулировало их двигательную активность. На 30-й минуте при концентрации 0,5 мл/л все моллюски находились на дне, признаков движения не наблюдалось. При концентрации 1 мл/л у моллюсков сохранялась высокая двигательная активность. Через 24 ч при концентрациях 0,5 и 1 мл/л, все моллюски находились на дне, признаков движения не наблюдалось. На 4-й день при концентрациях 0,5 и 1 мл/л у части моллюсков снова появилась

высокая двигательная активность, часть моллюсков находилась на дне без признаков движения. Гибель части особей наблюдалась: при концентрации 0,5 мл/л на 7-й и 12-й день, при концентрации 1 мл/л – на 7-й день (рис. 1).

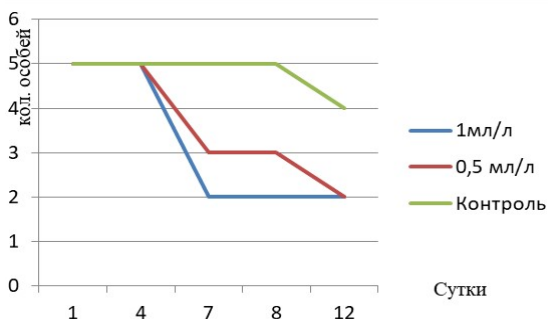


Рис. 1. Выживаемость особей

Проведено исследование по влиянию нефтезагрязнений на пресноводных моллюсков вида роговая катушка (*Planorbarius corneus*).

Опытная группа половозрелых моллюсков содержалась в воде с концентрацией нефти 1, 2, 4, 8 мл/л в течение 14 дней при параллельном контроле. При концентрации нефти, равной 1 мл/л, не наблюдалось существенных изменений в поведении моллюсков. При концентрации нефти 2 мл/л на 15-й минуте увеличилась дыхательная активность моллюсков, наблюдалось повышение потребности в кислороде, что стимулировало их двигательную активность. На 10-е сутки при концентрации нефти 1 мл/л происходят незначительные изменения численности моллюсков, при концентрации 2 мл/л начиная с 3-го дня численность не изменялась.

В первые сутки после внесения нефти при концентрации нефти в воде 4 мл/л наблюдалось повышение потребности в кислороде, что стимулирует двигательную активность. При концентрации 8 мл/л отмечалось снижение двигательной активности и выпадение из раковин мягких тканей моллюсков, что свидетельствовало о необратимых изменениях физиологических процессов. На вторые сутки при концентрации нефти 4 мл/л происходило снижение двигательной активности. Постоянное пребывание в верхних слоях воды является показателем нехватки кислорода. Зафиксировано ЛД 50 у подопытных моллюсков при концентрации 8 мл/л на вторые сутки исследования.

На шестые сутки при концентрации 4 мл/л моллюски испытывали дефицит кислорода. Токсическое влияние нефти проявлялось в закрытии створок раковины. При концентрации 8 мл/л мягкие ткани



моллюсков частично или полностью отделены от раковины, что свидетельствовало о гибели организмов. На восьмые сутки нефть с концентрацией 8 мл/л привела к гибели всех моллюсков. Необходимо отметить, что при попадании моллюсков в токсичную среду наблюдается развитие стрессовой реакции, проявляющейся в плотном закрытии створок раковины.

На основании проведенных исследований по влиянию нефтезагрязнений на пресноводных моллюсков можно сделать следующие выводы:

1. Показано, что при загрязнениях бензином изменяется поведение моллюсков.
2. Установлено снижение выживаемости моллюсков в загрязненной нефтепродуктами воде.
3. Бензин оказывает более выраженные изменения в жизнедеятельности моллюсков относительно нефтезагрязнений.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Бедова П.В., Колупаев Б.И. Использование моллюсков в биологическом мониторинге состояния водоемов // Экология. – 1998. – № 5.
2. Карташев А.Г. Экологические аспекты нефтедобывающей отрасли Западной Сибири. – Томск: ТУСУР, 2007. – 218 с.
3. Натали Ф.Ф. Зоология беспозвоночных. – М.: Просвещение, 1975. – 487 с.
4. Мариза-улитка: содержание, разведение, совместимость, фото, описание [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://aquarium-fish-home.ru/akvariumnye-ulitki/mariza-ulitka-soderzhanie-razvedenie-sovmestimost-foto-opisanie/>.html (дата обращения: 7.02.2018).
5. Долгин В.Н. К изучению пресноводных моллюсков Сибири // Вестник Том. гос. пед. ун-та. – 2009. – №11. – С. 174–178.

### ОСОБЕННОСТИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ СООБЩЕСТВ ПОЧВЕННЫХ НЕМАТОД В ВЕРХНИХ ГОРИЗОНТАХ ПОЧВЫ ГОРОДА ТОМСКА

*Е.А. Яковлева, студентка; С.А. Калашиникова, ассистент*

*Научный руководитель А.Г. Карташев*

*г. Томск, ТУСУР, каф. РЭТЭМ, [katyusha.yakovleva.96@mail.ru](mailto:katyusha.yakovleva.96@mail.ru)*

Живые организмы – одни из самых чутких показателей, отражающих динамические свойства среды обитания, современный почвенный режим [2–4]. В качестве чутких биоиндикаторов используются беспозвоночные животные. Одними из них являются почвенные нематоды. Распространение и численность сообществ нематод в зна-

чительной степени обусловлены почвенно-климатическими факторами, наиболее важными из которых являются температура, влажность, гранулометрический состав почвы, pH, содержание органического вещества и минеральных компонентов, тип фитоценоза [3–5].

Для исследования особенностей распространения сообществ почвенных нематод в верхних горизонтах почвы были выбраны 4 парковые зоны: Михайловская роща, Университетская роща, «Буревестник» и Лагерный сад. В каждой из зон были заложены модельные площадки с размерами 10 см<sup>2</sup> в с доминирующими породами деревьев. Исследованы в каждой зоне по 3 участка с хвойными, лиственными и смешанными породами деревьев. С каждого участка были отобраны пробы в несколько повторений для статистической достоверности. Забор проб был в конце мая 2017 г. Выделение нематод проходило с помощью модифицированного метода Бермана. Численность нематод рассчитывалась на 100 г сырой почвы. Определение общей численности почвенных нематод осуществляли с помощью цифрового микроскопа Motiс DM-BA300 с увеличением ×40 [1].

После предварительной обработки полученных данных сравнительные результаты по динамике численности почвенных нематод представлены на рис. 1.

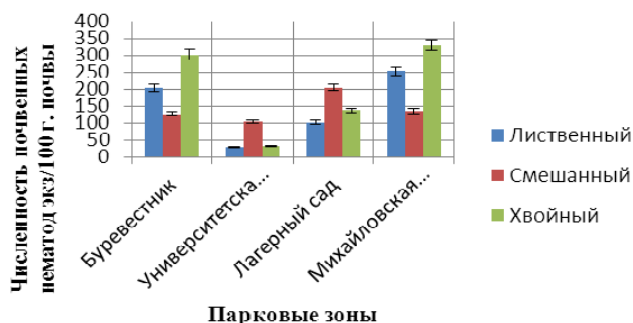


Рис. 1. Сравнительные данные по динамике численности почвенных нематод

В ходе обработки полученных данных обнаружено, что численность почвенных нематод в Михайловской роще больше, чем численность нематод в парке «Буревестник», в Университетской роще и Лагерном саду. Такой факт можно объяснить тем, что в Михайловской роще антропогенная нагрузка меньше, чем в остальных исследуемых местностях. Не исключен факт наличия большего питания и более благоприятных условий существования для нематод. Стоит обратить внимание, что численность нематод в парке «Буревестник» примерно

на 10% ниже, чем численность нематод в Михайловской роще. Наименьшая численность нематод по сравнению с другими исследуемыми зонами, приходится на Университетскую рощу. Предположительно это может быть связано с большей антропогенной нагрузкой. В данной местности динамика численности почвенных нематод примерно на 75% меньше, нежели численность нематод в Михайловской роще.

Исходя из представленных данных на рис. 1, можно предположить, что причина высоких показателей численности нематод в хвойной зоне в Михайловской роще обусловлена тем, что в хвойных лесах может быть накопление в подстилке трудно разлагаемых растительных остатков. С другой стороны, подстилка лиственных лесов имеет повышенное содержание элементов минерального питания, что обусловлено богатством лиственного опада азотом и зольными элементами и более высокой интенсивностью его минерализации. Таким образом, состав лесной подстилки благоприятствует развитию почвенных микроорганизмов и нематод [4].

Минимальные показатели на рис. 1 в зоне Университетской рощи предположительно обусловлены большей антропогенной нагрузкой и нехваткой необходимых питательных элементов для существования нематод.

Вблизи хвойных деревьев в Михайловской роще, численность нематод выше, чем вблизи смешанных пород деревьев, примерно на 65%. В парковой зоне Лагерного сада отмечено, что число нематод здесь выше, чем вблизи лиственных и хвойных пород деревьев. В Университетской роще преобладает численность нематод вблизи смешанных пород деревьев. А численность почвенных нематод в лиственной и хвойной зонах находится практически в равном количестве. В парковой зоне «Буревестник» вблизи хвойных пород деревьев численность нематод выше, чем в других изучаемых зонах. В зоне «Буревестник» численность нематод вблизи смешанных пород деревьев находится на минимальном уровне по сравнению с хвойными и лиственными породами деревьев.

Таким образом, на основании проведённых исследований можно сделать следующие выводы. Наиболее благоприятными местностями существования нематод являются зона с хвойными породами деревьев и смешанные леса, это обусловлено наличием питательных веществ для нематод, чем в местности с окружением лиственных пород деревьев. Исследования, проводимые специалистами в данной области, также показывают, что большое влияние на сообщества и численность почвенных нематод оказывают показатели влажности, кислотности почвы, гранулометрический состав почвы и климат.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Карташёв А.Г. Влияние нефтезагрязнений на надпочвенных и почвенных беспозвоночных / А.Г. Карташёв, Т.В. Смолина, А.Ю. Черданцев // Известия Том. политехн. ун-та. – 2006. – С. 182–185.
2. Gaugler R., Bilgrami A.L. (editor). Nematode Behaviour. – CABI. – 2004.
3. Гиляров А.М. Популяционная экология. – М.: Изд-во МГУ. – 191 с.
4. Мордкович В.Г. Степные экосистемы. – Новосибирск: Наука, Сибирское отд. – 1982. – 205 с.
5. Лайдинен Г.Ф., Груздева Л.И., Титов А.Ф. и др. Состояние травянистой растительности и сообществ почвенных нематод в условиях промышленного загрязнения // Труды Карельского научного центра РАН. – 2013. – № 6. – С. 17–26.

## ВЛИЯНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ОСВЕЩЕНИЯ НА РОСТ ТОМАТОВ

*О.М. Жукова, студентка*

*Научный руководитель Е.Г. Незнамова, доцент каф. РЭТЭМ, к.б.н.  
г. Томск, ТУСУР, каф. РЭТЭМ, lelya\_olya\_9696@mail.ru*

Солнечный свет является одним из наиболее важных для жизни растений экологических показателей. Основными характеристиками света являются его спектральный состав, интенсивность, суточная и сезонная динамика [1]. Многим травянистым культурам для полноценного развития необходим двенадцатичасовой световой день, однако не во все сезоны года он достигается. В связи с этим возникает необходимость в дополнительном искусственном освещении, имитирующем естественные природные условия [2].

Целью работы является поиск оптимального светового режима для выращивания томатов в условиях искусственного освещения.

Объект исследования – томаты сорта «Белый налив», ранний, детерминантный, низкорослый сорт томата для открытого грунта и временных пленочных укрытий. Период от всходов до начала созревания составляет 100–115 дней [3].

Посадку томатов осуществляли в 5 цветочных ящиков площадью 0,49 м<sup>2</sup> (35×14 см). Одна группа являлась контрольной и находилась под естественным освещением (ящик № 5), остальные четыре выращивались под искусственным освещением (табл. 1).

Светодиодные лампы автоматизированы и включались ежедневно в 8:00, а выключались в 20:00. Исследования проводились в главном корпусе Томского университета систем управления и радиоэлектроники (ТУСУР).

Таблица 1

**Характеристика используемых светильников**

Светильник	Светодиоды	Доминантная длина волны	Номер ящика с томатами
№ 1. 3000K Ra 80	Белые нейтральные	580	№ 1
№ 2. Фито 6 гр., 4000K Ra80 5 гр.	Фито- и белые светодиоды (1:1)	515	№ 2
№ 3. 4000K Ra80	Белые теплые	575	№ 3
№ 4. Фито 9гр., 4000K Ra80 2 гр.	Фито- и белые светодиоды (2:1)	500	№ 4

Во время эксперимента регулярно проводились измерения таких биометрических показателей, как высота и диаметр розетки ростков. Среднестатистические значения по высоте ростков при различной освещенности представлены в табл. 2.

Таблица 2

**Среднестатистические значения высоты томатов при различной освещенности**

Дата измерений	Лампа № 1	Лампа № 2	Лампа № 3	Лампа № 4	Контроль
28.03.17	3,7±01	4±01	4,1±01	4,06±01	2,1±01
04.04.17	4±01	4,1±01	4,1±01	4,5±01	3,4±01
13.04.17	4,2±01	4,2±01	4,3±01	4,6±01	3,5±01
20.04.17	4,5±01	3,8±01	3,8±02	4,6±02	3,5±02
27.04.17	4,5±02	3,8±02	4±02	4,6±02	3,5±02
04.05.17	4,5±02	3,9±02	4±02	4,6±03	3,5±02
11.05.17	4,5±02	4±03	4,1±03	4,7±03	3,8±03
18.05.17	4,5±03	4±03	4,4±03	4,8±03	4±03

Анализ данных, представленных в табл. 2, позволяет заметить, что под лампой № 4 наблюдался максимальный рост томатов, а минимальный рост – под естественным освещением.

Для наглядности рассмотрим на графике сравнение среднестатистических значений высоты томатов группы с максимальным ростом и контрольной группы (рис. 1).

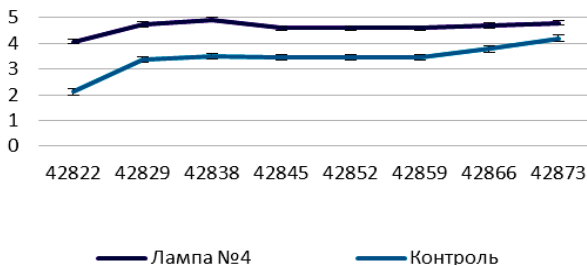


Рис. 1. Среднестатистические значения высоты томатов

По результатам проведённых исследований можно сделать выводы о том, что максимальная скорость роста наблюдалась в ящике № 4, находящемся под лампой № 4. Негативного воздействия искусственного освещения на томаты «Белый налив» обнаружено не было.

Следовательно, лампы включающие фитосветодиоды, можно рекомендовать для практического использования в тепличном хозяйстве.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Влияние света [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.floralworld.ru/care/light.html> (дата обращения: 27.0.2018).
2. Туев В.И., Незнамова Е.Г., Солдаткин В.С., Хомяков А.Ю. Применение светодиодного освещения на разных стадиях выращивания культурных растений // Физика и технология наноматериалов и структур: сборник науч. статей 2-й Междунар. науч.-практ. конф., 24–26 ноября 2015 г. / Юго-Зап. гос. ун-т: в 2 т. – Курск: ЗАО «Университетская книга», 2015. – Т. 2. – С. 161–166.
3. Томат. Технология выращивания в открытом грунте [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.agrodepartament.ru/tomaty/tekhnologii-vyrashchivaniia/tomaty/tomat-tekhnologii-vyrashchivaniia-v-otkrytom-grunte> (дата обращения: 27.02.2018).

### ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ИСКУССТВЕННОГО ОСВЕЩЕНИЯ НА ТРАВЯНИСТЫЕ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ РАСТЕНИЯ

*К.В. Бушланова, студентка; Е.Г. Незнамова, доцент, к.б.н.  
Научный руководитель Е.Г. Незнамова, доцент каф. РЭТЭМ, к.б.н.  
г. Томск, ТУСУР, каф. РЭТЭМ, kristina\_1610@mail.ru*

Единственный путь увеличения продуктивности растительных организмов заключается в непрерывном повышении количества связываемой ими лучистой энергии. Развитие агротехники привело к стремлению в ряде опытов заменить естественное освещение искусственным. Светодиодное освещение находит все более широкое применение в сельскохозяйственном производстве, применяется для выращивания растений при полном искусственном освещении в теплицах и для досвечивания рассады овощных и декоративных культур. Светодиодные светильники отличаются очень длительным сроком службы – до 80 тыс. часов, это 10 лет непрерывного свечения или 20, если имитировать световой день экономией электроэнергии и возможностью варьировать спектральный состав.

Целью исследования является выбор оптимального светового режима светодиодов для выращивания петрушки в условиях искусственного освещения.

В качестве объектов исследования выбраны семена петрушки сорта «Наталка» – высокоурожайный сорт, раннеспелое растение, вегетационный период 55–60 дней. Листовая петрушка дает большое количество листьев, но маленький и сухой корень, практически не пригодный для еды. Выращивают сорта как с простыми, гладкими, так и с волнистыми листьями. Петрушка – растение длинного светового дня, так что желательно отводить под нее открытые участки, хотя в слабо затененных местах она чувствует себя вполне неплохо [3].

Для данного эксперимента были предоставлены светодиодные установки компании ООО «ТЕХЭНЕРГО» (Томская обл., г. Томск). Время освещения ящиков с 8:00 утра до 20:00 вечера (ежедневно) с момента посадки семян. Полив осуществлялся раз в неделю. Перед посадкой по 50 семян петрушки облучались в течение 10 мин светодиодным матричным аппаратом «Дюна-Т» (рис. 1). Предпосевная обработка позволяет улучшить различные качества растения, вывести посевной материал из состояния покоя, сохранить жизнеспособность каждого семени и защитить от возбудителей болезней растений.



Рис. 1. Предпосевная обработка семян

Светоизлучающая матрица аппарата представляет собой последовательность соединенных 21 красного и 16 инфракрасных светодиодов. Расстояние между светящейся поверхностью облучателя и облучаемым материалом 1 см. Спустя 5 мин после облучения, семена высаживались в пластиковые ёмкости.

Анализируя результаты эксперимента, представленные в табл. 1, можно отметить увеличение средних значений высоты необлученных растений петрушки над облученными под белым светом, в то время как под лампой с синим светом значения средней высоты оказались больше у облученных растений, чем у необлученных.

Таблица 1

Средние значения высоты петрушки				
Средняя высота растений, см				
55	Облуч. Белый свет	Необлуч. Белый свет	Облуч. Синий свет	Необлуч. Синий свет
16.11.2017	2,13 ± 0,07	3,5 ± 0,11	2,13 ± 0,07	1,31 ± 0,06
23.11.2017	2,62 ± 0,06	5 ± 1	2,71 ± 0,07	1,99 ± 0,08
30.11.2017	3,06 ± 0,21	5,77 ± 0,14	3,49 ± 0,11	2,35 ± 0,04
07.12.2017	5,7 ± 0,22	8,37 ± 0,34	7,15 ± 0,24	5,7 ± 0,22
14.12.2017	7,15 ± 0,24	10,93 ± 0,35	9,3 ± 0,31	7,55 ± 0,3

Выполнив анализ значений средних диаметров розетки петрушки, также можно заметить, что наибольшие значения показали необлученные растения, чем облученные, которые находились под белым светом. Под синим светом больше оказались значения облученных растений (табл. 2).

Т а б л и ц а 2

**Средние значения диаметра розетки петрушки**

Средний диаметр розетки, см				
	Облуч. Белый свет	Необлуч. Белый свет	Облуч. Синий свет	Необлуч. Синий свет
16.11.2017	1,27 ± 0,08	1,44 ± 0,07	1,27 ± 0,08	0,74 ± 0,07
23.11.2017	1,3 ± 0,08	1,95 ± 0,06	1,37 ± 0,08	1,17 ± 0,05
30.11.2017	1,35 ± 0,07	2,24 ± 0,03	1,48 ± 0,07	1,27 ± 0,03
07.12.2017	1,82 ± 0,04	3,5 ± 0,14	2,04 ± 0,04	1,82 ± 0,04
14.12.2017	2,04 ± 0,04	3,8 ± 0,14	3,65 ± 0,16	3,25 ± 0,17

По результатам эксперимента по всем биометрическим показателям наибольшие значения под белой лампой оказались у необлученной петрушки, в то время как под синей лампой наибольшие показатели были у облученной.

Описанный эксперимент показал, что при освещении светоизлучающими конструкциями семена растений прошли полный вегетационный период, но некоторые растения выросли истощёнными, слабыми, малых размеров, без полного формирования листовых пластин.

Результаты работы могут быть использованы для дальнейших исследований – для создания оптимальных условий выращивания других овощных культур в теплицах и как научно-практическая база для экспериментов схожего типа.

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Роль света в жизни растений. Спектральная область поглощения радиации [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://lektsii.net/1-69008.html> (дата обращения: 08.11.2017).
2. Александрова С.Н., Кудайбергенова Ж.Д., Рыбакова А.А., Незнамова Е.Г. Рост и развитие томатов при искусственной подсветке разными типами ламп // Всерос. науч. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых. – 2015.
3. Туев В.И., Незнамова Е.Г., Солдаткин В.С., Хомяков А.Ю. Применение светодиодного освещения на разных стадиях выращивания культурных растений // Физика и технология наноматериалов и структур: сборник науч. статей 2-й Междунар. науч.-практ. конф., 24–26 ноября 2015 г. / Юго-Зап. гос. ун-т: в 2 т. – Курск: ЗАО «Университетская книга», 2015. – Т. 2. – С. 161–166.





**СЕКЦИЯ 8**

**POSTGRADUATE AND MASTER**

**STUDENTS' RESEARCH**

**IN ELECTRONICS AND CONTROL**

**SYSTEMS**

(секция на английском языке)



## **СЕКЦИЯ 8**

### **POSTGRADUATE AND MASTER STUDENTS' RESEARCH IN ELECTRONICS AND CONTROL SYSTEMS**

*(на английском языке)*

*Председатель – Покровская Е.М., зав. каф. ИЯ, доцент,  
к.филос.н.*

*сопредседатели – Шпунт Е.И., ст. преп. каф. ИЯ,  
Соболевская О.В., ст. преп. каф. ИЯ*

#### **EMISSION OF A NARROW-FOCUSED ELECTRON BEAM THROUGH A SINGLE CHANNEL OF THE FOREVACUUM ELECTRON SOURCE**

*I.Yu. Bakeev, postgraduate student, junior research scientist  
Tomsk, TUSUR, Department of Physics, bakeeviyu@mail.ru*

Nowadays, electron beams [1] are widely used for achieving local thermal effect on various metallic materials. And especially advantageous among sources of electron beams are the sources with a plasma cathode [2] due to the absence of incandescent parts in them and the ability to generate beams with the power density of up to  $10^7$  W/cm<sup>2</sup>. Forevacuum plasma electron sources [3] operating in the pressure range from one to hundreds of pascals, in contrast to the sources operating in the conventional pressure range of up to  $10^{-1}$  pascals, are able to efficiently process electrically non-conductive materials, such as high-temperature grades of ceramic and glass. However, the power density  $10^4$ – $10^5$  W/cm<sup>2</sup> [4] achieved by such sources is insufficient for a number of applications. Processes occurring in the region of electron selection and acceleration primarily affect the parameters of the electron beam during focusing. So the aim of this work was to study the processes of electron emission from a single channel in the forevacuum range of pressures in more detail.

**The technique of experiment.** The scheme of the experimental setup and the technique for measuring parameters of the electron beam is shown in Fig. 1. A detailed description of the forevacuum source operation principle and its features is given in [5].

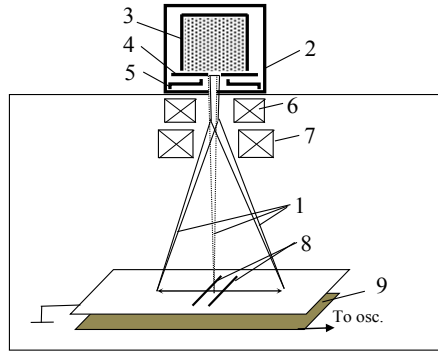


Fig. 1. The scheme of the experimental setup: 1 – electron beam; 2 – forevacuum electron source; 3 – cathode; 4 – anode; 5 – extractor; 6 – magnetic lens; 7 – magnetic reflecting coil; 8 – measuring gaps; 9 – current collector plate

The electron beam 1 was generated by the forevacuum source of electrons 2 by extracting electrons from the plasma of the hollow cathode 3 through the single emission channel in the anode 4. Electron acceleration was produced by the electric field in the accelerating gap between the anode 4 and the extractor 5. The beam was focused by the magnetic lens 6. The emission processes were studied by changing diameter  $D_{em}$  of the emission channel in the anode and the length  $H_{em}$  of the channel. To preserve the plasma concentration near the channel and the intensity of the accelerating field, the cathode-anode and anode-extractor distances were kept unchanged.

To measure the beam diameter  $d_b$ , the electron beam was moved by the magnetic deflection system 7 along the line on the horizontal plate with two long measuring gaps 8. When electrons passed through the gap, they reached the current collector plate 9, the signal from which was fixed by an oscilloscope. The beam current  $I_b$  was measured when the beam was deflected on the Faraday cup.

**The experimental results.** The typical dependences of the beam current and its diameter on the diameter of the emission channel are shown in Fig. 2, a. It can be seen from this figure that as the diameter of the emission channel increases, both the beam current and its diameter increase monotonically. Fig. 2, b shows the dependences of the beam power density on the diameter of the emission channel. The power density was estimated from the measured values of the current and the diameter of the beam according to the formula:  $P_s = 4 \cdot U_a \cdot I_b / (\pi \cdot d_b^2)$ , where  $P_s$  is the beam power density;  $U_a$  is the accelerating voltage. It can be seen, these dependences have an extremum form. With an increase in the length of the channel, the

maximum value of the power density decreases and shifts toward larger values of the diameter.

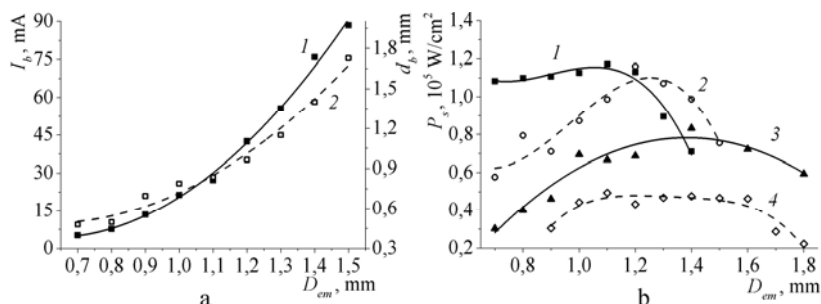


Fig. 2. The dependences of the current  $I_b$  and diameter  $d_b$  of the beam (a) and the power density  $P_s$  of the beam (b) on the diameter of emission channel  $D_{em}$  with different channel lengths  $H_{em}$ .

a: 1 –  $I_b = f(D_{em})$ ; 2 –  $d_b = f(D_{em})$ ;

b: 1 –  $H_{em} = 1$  mm; 2 –  $H_{em} = 2$  mm; 3 –  $H_{em} = 3$  mm; 4 –  $H_{em} = 4$  mm

The reason for this behavior of the beam power density can be a change in the position of the plasma boundary during the electron extraction when the geometry of the emission channel changes. Thus, for a large channel diameter, the emission plasma can penetrate into the accelerating gap, so the plasma boundary has a convex shape. Due to this position of the plasma boundary, electrons, whose emission occurs at a distance from the center, have a radial velocity component. As a result, the electron velocity spread increases and the beam diameter grows. Thus, if a certain value of the channel diameter is exceeded, the emission plasma begins to penetrate into the accelerating gap and emits an initially divergent beam, as a result of which the beam power density decreases sharply. The decrease in the maximum power density and its displacement toward larger diameters with the decrease in the length of the channel can be associated with the decrease in the plasma concentration during its propagation in the channel [6].

**Conclusions.** The paper presents the results of studies describing the effect of the geometry of a single emission channel on the parameters of an electron beam in the forevacuum region of pressures. It is shown that the current and diameter the beam increase monotonically as the diameter of the emission channel increases. Due to their combined behavior, the dependence of the beam power density on the channel diameter has a maximum. As the length of the channel increases, the maximum value of the power density decreases and shifts towards larger channel diameters.

The work is supported by the Ministry of Education and Science in the framework of the basic part of the project № 3.9605.2017/8.9.

## REFERENCES

6. Alehnovich V.N., Alifanov A.V., Gordienko A.I., Pobol I.L. Electron beam treatment of dielectrics // Minsk: Belorusskaya nauka. – 2006. – 319 p. [in Russian].
7. Kornilov S.Y., Osipov I.V., Rempe N.G. Generation of narrow focused beams in a plasma-cathode electron gun // Instruments and Experimental Techniques. – 2009. – Vol. 52., No. 3. – P. 406–411.
8. Burdovitsin V.A., Bakeev I.Yu., Zenin A.A. et al. Experience in the development and application of forevacuum plasma electron sources // Doklady TUSURa. – 2016. – No. 2. – P. 5–0 [In Russian].
9. Zenin A.A., Bakeev I.Yu., Burachevskii Yu.A. et al. Electron Beam Focusing Features in a Plasma Electron Source under Forevacuum Pressures // Technical Physics Letters. – 2016. – Vol. 42, No. 7. – P. 712–714.
10. Burdovitsin V.A., Klimov A.S., Medovnik A.V. et al. Forevacuum plasma electron sources // Tomsk: Izd-vo Tomskogo un-ta. – 2014. – 288 p. [in Russian].
11. Galansky V.L., Gruzdev V.A., Osipov I.V., Rempe N.G. Physical processes in plasma electron emitters based on a hollow-cathode reflected discharge // Journal of Physics D: Applied Physics. – 1994. – Vol. 27, No. 5. – P. 953.

## GRAVITATIONAL SEARCH ALGORITHM FOR DESIGNING TAKAGI–SUGENO SYSTEMS

*M.B. Bardamova, postgraduate student, junior research scientist*

*Scientific supervisor I.A. Hodashinsky, prof., Ph.D.*

*Tomsk, TUSUR, Department of Security, bmb@keva.tusur.ru*

The Takagi-Sugeno (TS) fuzzy system [1] is widely regarded as an effective instrument for solving management, simulation and approximation problems of functional dependencies. The basic idea underlying TS fuzzy systems consists in fuzzy partitioning of the input space into a set of subspaces; in each of these subspaces, the behavior of the plant being simulated is described by the linear function.

The design of fuzzy systems involves the solution of the following basic problems: 1) generation of a fuzzy rule base; 2) optimization of the parameters of the antecedent (IF) and consequent (THEN) parts of the rules; 3) validation of the designed system.

The aim of the proposed study is to develop a method for designing Takagi–Sugeno fuzzy approximators based on the gravitational search algorithm and piecewise-linear initialization (PLI).

**Problem statement.** The Takagi–Sugeno fuzzy rules have the form

$$\begin{aligned} \text{IF } x_1 = A_{1i} \text{ AND } x_2 = A_{2i} \text{ AND } \dots \text{ AND } x_n = A_{ni} \\ \text{THEN } y = d_{0i} + d_{1i}x_1 + d_{2i}x_2 + \dots + d_{ni}x_n, \end{aligned}$$

where  $A_{ij}$  is the fuzzy term used to estimate the input variable  $x_i$ ; the output  $y$  is given by a linear function of the input variables.

The output of the system is given by the following map [1]:

$$f(x; \theta, \mathbf{D}) = \sum_{i=1}^R \prod_{j=1}^n \mu_{A_{ji}}(x_j) (d_{0i} + d_{1i}x_1 + \dots + d_{ni}x_n) / \sum_{i=1}^R \prod_{j=1}^n \mu_{A_{ji}}(x_j),$$

where  $x$  is the input vector;  $n$  is the number of input variables;  $R$  is the number of rules;  $\mu_{A_{ij}}$  is the membership function of the  $j$ -th input variable;

$\theta$  is the membership function parameter vector;  $\mathbf{D}$  is the consequent parameter vector,  $\mathbf{D} = [d_{01}, \dots, d_{0R}, d_{11}, \dots, d_{1R}, \dots, d_{n1}, \dots, d_{nR}]^T$ .

The quality criterion for approximation in the table of observations  $T = \{(x_p, y_p) \mid p = 1, \dots, m\}$  can be expressed by the mean square error function [1]

$$MSE(\theta, \mathbf{D}) = \frac{1}{2m} \sum_{p=1}^m (y_p - f(x_p; \theta, \mathbf{D}))^2.$$

It is proposed to use the PLI algorithm to generate a rule base [2] and the gravitational algorithm to optimize antecedent parameters.

**The gravitational algorithm (GSA<sub>R</sub>).** The gravitational algorithm for optimization is based on the fundamental laws of gravitation. A population of optimizable vectors consists of a system of particles with gravitational forces acting between them [3]. Parameters that are delivered to the input of the algorithm are the following: the number of particles  $P$ , the number of iterations  $T$ , the initial value of the gravitational constant  $G_0$ , the coefficient of search accuracy  $\beta$ , and the small constant  $\epsilon$ . The value of the gravitational constant is computed for each iteration on the basis of a monotonically decreasing function. The following physical characteristics are calculated for each  $i$ th particle in the population  $\theta$  at the  $t$ th iteration:  $m_i(t)$  – mass;  $a_i(t)$  – acceleration;  $V_i(t)$  – velocity. Particle positions are renewed at the next stage by updating the current coordinates by an amount proportional to the velocity. Calculations were run to iteration  $T$ , at which point the vector with the maximum value of  $\theta_{best}$  appears at the output.

The composition of the input vector differs in relation to the type of an algorithm. In a continuous algorithm, the positions of terms are optimized as the initial vector consists of the parameters of antecedents (in our case, the dimensionality of the vector is  $2mn$ , as there are two parameters in terms of the Gaussian type). The remaining particles are duplicates of the initial vector generated using normal deviations.

Input:  $P, T, G_0, \beta, \epsilon, \mathbf{S}$ .

Population =  $\{\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_P\}$ ;

$t := 1$ ;

while ( $t \neq T$ )



```

 $G[t] := G_0 * (t/T)^\beta;$ 
for  $i$  from 0 to  $P$ 
 $m[i] := (E[\mathbf{\theta}_i, \mathbf{S}] - E[\mathbf{\theta}_{worst}, \mathbf{S}]) / (E[\mathbf{\theta}_{best}, \mathbf{S}] - E[\mathbf{\theta}_{worst}, \mathbf{S}]);$ 
end for;
for  $i$  from 0 to  $P$ 
 $M_i(t) = m_i(t) / \sum_{l=1}^P m_l(t);$ 
end for;
for  $i$  from 0 to  $P$ 
for  $j$  from 0 to  $P$ 
 $R[i, j] := \|\mathbf{\theta}_j - \mathbf{\theta}_i\|;$ 
for  $d$  from 1 to  $|\mathbf{\theta}_i|$ 
 $a_i^d := a_i^d + rand * G[t] * M[j] * (\theta_j^d - \theta_i^d) / (R[i, j] + \epsilon);$ 
 $V_i^d[t+1] := rand * V_i^d[t] + a_i^d[t];$ 
 $\theta_i^d[t+1] := \theta_i^d[t] + V_i^d[t+1];$ 
end for;
end for;
end for;
 $t := t + 1;$ 
end while;
Output  $\mathbf{\theta}_{best} := \text{Search\_best}(\text{Population}).$ 

```

**Experiment.** The gravitational algorithm was used to optimize the parameters of the membership functions of Takagi–Sugeno fuzzy systems. The resulting fuzzy systems were tested against the real datasets from the KEEL repository [4]. The characteristics of the datasets are given in Table 1.

Table 1

**Datasets used for approximation**

Data	Title	Examples	Attributes
electrical length	ele-1	495	2
autoMPG6	MPG6	392	5
autoMPG8	MPG8	392	7
concrete	conc	1030	8
abalone	aba	4177	8
stock prices	stp	950	9
wizmir	wiz	1461	9
wankara	wan	1609	9
treasury	tre	1049	15
mortgage	mor	1049	15

The tests were carried out according to the cross-validation scheme, and the results were averaged over five experiments. The averaged values of the estimates are presented in Table 2 (the best estimates are in bold).

Table 2

**Estimates for constructing approximators**

Data	ANFIS-SUB		LEL-TSK		METSK-HD		PLI+GSA <sub>R</sub>	
	<i>R</i>	<i>MSE<sub>tst</sub></i>	<i>R</i>	<i>MSE<sub>tst</sub></i>	<i>R</i>	<i>MSE<sub>tst</sub></i>	<i>R</i>	<i>MSE<sub>tst</sub></i>
Ele1	27.8	2.150	27	2.402	11.4	2.022	6	<b>1.644</b>
Mpg6	299.6	8.079	79	6.357	83.6	4.478	2	<b>3.348</b>
Mpg8	13.8	26.136	129	7.111	64.2	5.391	2	<b>3.000</b>
conc	20.6	188.29	325	31.430	53.7	<b>23.885</b>	3	24.336
aba	9	2.733	107	2.412	23.1	2.392	3	<b>2.124</b>
stp	13.2	<b>0.307</b>	78.9	0.849	66.4	0.387	5	0.530
wiz	6.2	0.701	116	2.227	29.1	0.944	3	<b>0.611</b>
wan	6	0.845	123	1.632	48	1.189	4	<b>0.703</b>
tre	10	0.019	63.7	0.504	28.1	0.038	3	<b>0.014</b>
mor	9.4	0.003	64.3	0.472	27.2	0.013	6	<b>0.002</b>

**Conclusions.** In this paper, the optimization algorithm based on gravitational force for tuning antecedent parameters of Takagi-Sugeno fuzzy systems was described. For identification of antecedent parameters, the piecewise linear initialization algorithm was used. The combination of these algorithms makes it possible to construct accurate TS fuzzy systems, which is testified by the series of experiments on the datasets.

**REFERENCES**

1. Takagi T., Sugeno M. Fuzzy identification of systems and its application to modeling and control // IEEE Transaction Systems, Man and Cybernetics. – 1985. – Vol. 15. – P. 116–132.
2. Hodashinsky I.A., Filimonenko I.V., Sarin K.S. Krill Herd and Piecewise-Linear Initialization Algorithms for Designing Takagi–Sugeno Systems // Optoelectronics, Instrumentation and Data Processing. – 2017. – Vol. 53, № 4. – P. 379–387.
3. Rashedi E., Nezamabadi-pour H., Saryazdi S. GSA: A Gravitational Search Algorithm // Information Sciences. – 2009. – Vol. 179. – P. 2232–2248.
4. KEEL. Knowledge Extraction Based on Evolutionary Learning. [Electronic resource]. – URL: <http://www.keel.es>. (Accessed: 08.01.2018).

## WATERPROOF MODAL FILTER BASED ON FOUR-CONDUCTOR MICROSTRIP LINE

*A.O. Belousov, postgraduate student of the Television and Control dept.*

*Scientific supervisor T.R. Gazizov, head of Television and Control dept.,*

*DScTech, professor*

*Tomsk, TUSUR, ant1lafleur@gmail.com*

Contemporary radio-electronic equipment has a wide range of functional capabilities but, at the same time, is susceptible to electromagnetic interference. Conducted interference is considered to be the most harmful one, as it can penetrate into devices directly through conductors [1]. Modern generators of ultrashort pulses have very high capabilities [2]. Such ultrashort pulses are able to penetrate and disturb the electronics due to the high power output and short duration. Therefore, it is necessary to improve the protection of electronics against ultrashort pulses.

A technique of modal filtration [3] has been proposed to protect radio-electronic devices against ultrashort pulses. This technique is based on the modal decomposition of a pulse signal which occurs due to the difference between modal delays in multiconductor transmission lines. There already exists a method of ultrashort pulse protection based on the use of modal signal distortions in multiconductor modal filters (MFs) based on microstrip lines (MSL) [4]. Meanwhile, the stability of a MF to external influences has remained without attention. Thus, it is advisable to consider and simulate a multiconductor MF with a coating layer to increase the resistance of the MF to external influences. The aim of this paper is to perform such research.

As the object of investigation, we took a four-conductor MF. As a coating layer, we used the lacquer ЭП-9114. The cross-section of the four-conductor MF is shown in Fig. 1, *a*; the schematic diagram is shown in Fig. 1, *b*; the waveforms of the exciting pulses are shown in Fig. 1, *c*.

For clarity, the optimization of the MF by heuristic search was carried out by the criterion of minimization of the maximum amplitude at the output of the line. The values of the width of the conductors  $w$  and spacing between them  $s_i$  were optimized in the range of 1–1000  $\mu\text{m}$ ; the thickness of the conductors  $t$  and the thickness of the dielectric  $h$  were optimized in the ranges of 10–175  $\mu\text{m}$  and 100–2000  $\mu\text{m}$ , respectively. The thickness of the coating layer  $h_O$  was assumed to be equal to 2  $\mu\text{m}$ , the relative permittivity of the substrate was  $\epsilon_r = 5$  (glass-textolite) and its cover layer was  $\epsilon_{rO} = 4$ ; the line length is  $l = 60$  cm, and  $R = 50 \Omega$ . As a result of MF optimization, the values of the following parameters were obtained:  $w = 1000 \mu\text{m}$ ,  $s_1 = 8$ ,  $s_2 = 23$  and  $s_3 = 390 \mu\text{m}$ ,  $t = 35 \mu\text{m}$ ,  $h = 501 \mu\text{m}$ .

Signal parameters and waveforms were calculated in TALGAT software [5]. We assumed that a T-wave is propagating along the considered lines, and we took into consideration the losses in conductors (copper) and dielectrics (loss-angle tangent of the substrate is  $\text{tg}\delta = 0.017$  and the covering layer is  $\text{tg}\delta_o = 0.03$ ). A digitized signal of the oscilloscope C9-11 was used as an exciting pulse; it was measured at  $50\ \Omega$  load, with an amplitude of  $0.644\ \text{V}$ . The durations of rise was  $56\ \text{ps}$ , fall was  $48\ \text{ps}$  and the flat top was  $4\ \text{ps}$  so that the overall duration was  $108\ \text{ps}$  (durations were measured at levels of  $0.1\text{--}0.9$ ).

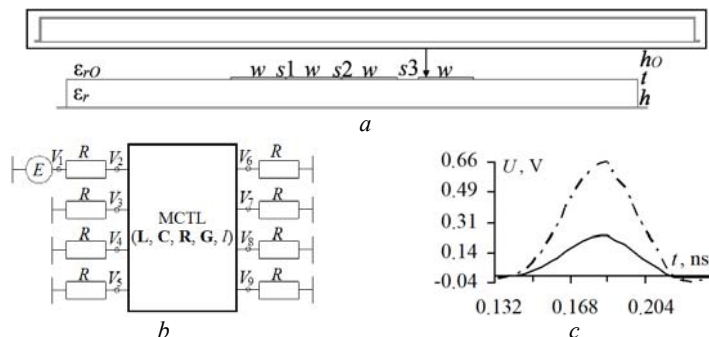


Fig. 1. The cross-section (with enlarged fragment of the covering layer) (*a*); schematic diagram (*b*) and the EMF (---) with the voltage (—) at the input (*c*) of the four-conductor MF with waterproof coating

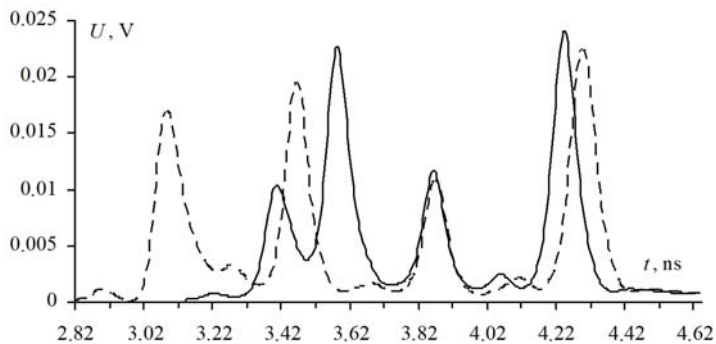


Fig. 2. The signal waveform at the output of a four-conductor MF with a waterproof coating (—) and without a waterproof coating (---)

It is seen from Fig. 2 that the maximum amplitude of the signal at the output of the line was  $0.023\ \text{V}$ , which is 28 times less than the EMF of the source. The minimization of the amplitude is achieved by relative equalization of the second and fourth pulses. Meanwhile, the covering layer entails

a decrease in the difference in the pulse delays, which leads to partial pulse overlapping, and, as a result, to an increase in the maximum amplitude. Thus, we modeled and optimized a four-conductor MF with a cover layer, with an attenuation factor of 28 times when exposed to a pulse duration of up to about 180 ps. It should be noted that the MF has a coating which protects it from different factors, including corrosion, interaction with chemicals and temperature effects from  $-60$  to  $+125$  °C, and is moisture-proof, which allows it to be used in appropriate applications.

This research was supported by The Ministry of Education and Science of the Russian Federation (RFMEFI57417X0172).

#### REFERENCES

1. 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.
2. Study and classification of potential IEMI sources / N. Mora, F. Vega, G. Lugin, F. Rachidi, M. Rubinstein // System and assessment notes. – No. 41. – July 8, 2014.
3. Gazizov A.T. UWB pulse decomposition in simple printed structures / A.T. Gazizov, A.M. Zabolotsky, T.R. Gazizov // IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility. – 2016. – Vol. 58, No. 4. – P. 1136–1142.
4. Belousov A.O. Multicriteria optimization of four-conductor modal filter by genetic algorithms / A.O. Belousov, T.T. Gazizov, T.R. Gazizov // 2017 International Multi-Conference on Engineering, Computer and Information Sciences (SIBIRCON). Russia, Novosibirsk. – Sep. 18–22, 2017. – P. 445–448.
5. Kuksenk S.P. New developments for improved simulation of interconnects based on method of moments / S.P. Kuksenko, T.R. Gazizov, A.M. Zabolotsky et al. // Advances in Intelligent Systems Research // Proc. of the 2015 Int. Conf. on Modeling, Simulation and Applied Mathematics (MSAM2015). – Aug. 23–24, 2015, Phuket, Thailand. – P. 293–301.

#### **THE POWER SUPPLY OF A REMOTELY OPERATED UNMANNED UNDERWATER VEHICLE WITH HIGH VOLTAGE DIRECT CURRENT TRANSMISSION VIA A STRENGTH-POWER COMMUNICATION CABLE**

*V.A. Chekh, postgraduate student of the Department  
of Industrial Electronics, junior research scientist  
Scientific supervisor V. Rulevskiy, Head of Scientific and Research  
Institute of Automation and Electromechanics, PhD  
Tomsk, TUSUR, rulevsky@niiiaem.tomsk.ru*

The growing demand for energy sources stimulates the use of unmanned underwater vehicles (UUVs). UUVs are also used for rescue op-

erations and the study of the World Ocean. It is advisable to use remotely operated unmanned underwater vehicles (ROVs) at depths of up to 8000 meters. The underwater vehicles classification is presented in [1]. A power supply is a core element that determines the entire performance of the ROV.

In this paper, we consider an ROV power supply based on high voltage direct current (HVDC) transmission over a cable up to 8000 m long and with a rated power of 47 kW. The power supply provides an output voltage of  $1200\text{ V} \pm 10\%$  and a ripple factor equal to 0.5%.

Taking into account the research of authors [2–5], we have built a simulation model of the ROV power supply with HVDC transmission via a strength-power communication cable (SPCC). Figure 1 presents the structural diagram and the simulation model of the considered ROV power supply. The simulation model is implemented in the MATLAB Simulink. In the model, the semiconductor components are ideal; the imitation of load switching is provided by counter-EMF with a slew rate of 5.4 V/ms.

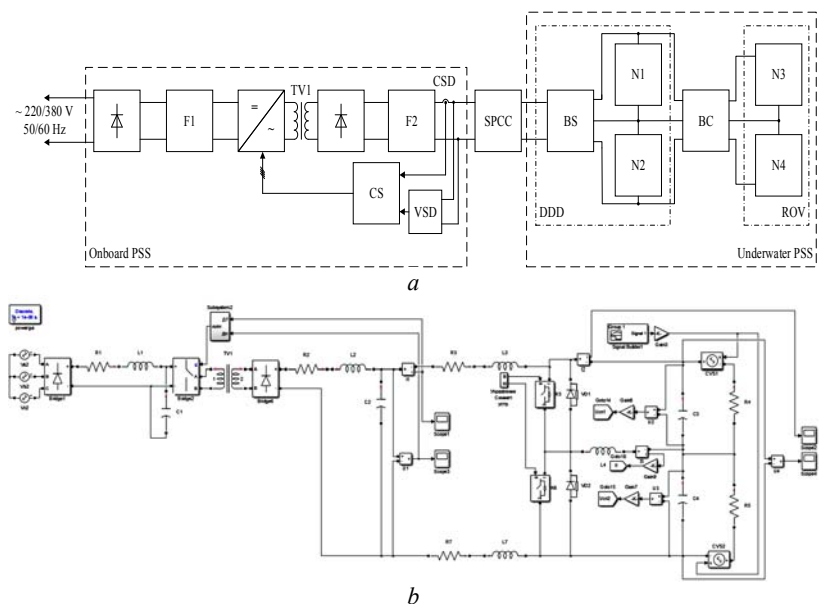


Fig. 1. Block diagram (a) and simulation model (b) of the ROV power supply with HVDC transmission and a balancing system in the underwater part

The ROV power supply includes an onboard part and an underwater part, which are connected via an SPCC. The onboard part consists of an

uncontrolled rectifier unit, filters F1 and F2, a voltage source inverter, a boost transformer TV1, current and voltage sensors and a control system. The underwater part of the power supply comprises a deep diving device (DDD) and an ROV. The ROV with loads N3 and N4 is connected to the DDD via a buoyant cable. A load balancing system is installed in the DDD. The output voltage oscillogram is shown in Fig. 2.

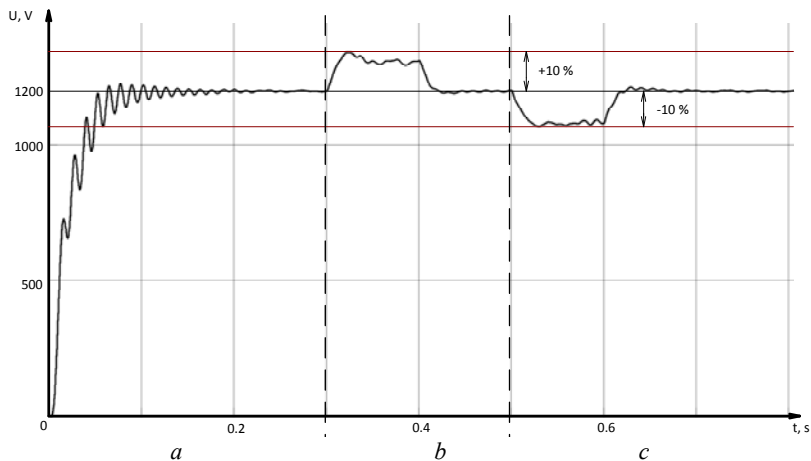


Fig. 2. The output voltage oscillogram of the ROV power supply at startup on the rated mode (a), the switching to idle mode (b), the switching to the rated mode (c)

The simulation has shown that the voltage overshooting is within the limits of  $\pm 10\%$  of the rated value; the ripple factor does not exceed  $0.5\%$ ; the startup response time is  $150$  ms.

The block diagram of the ROV power supply with HVDC transmission via the SPCC allows improving the weight-size parameters of the underwater part due to the lack of a transformer and converter units. Using a balancing system expands the power supply performance.

#### REFERENCES

1. GOST R 56960–2016. The unmanned underwater vehicles. Classification [Electronic resource]. – Mode of access: <http://www.internet-law.ru/gosts/gost/62069~> (in Russian).
2. Lai, R. Deep Water Electrical Power Distribution System and Power Components [Electronic resource] / MSDC Electrical System for Deepwater Subsea Process. – NY., 2013. – 353 p. – Mode of access: <https://www.netl.doe.gov/File%20Library/Research/Oil-Gas/deepwater%20technology/08121-2901-01-final-report-phase2.pdf> (in Russian).

3. Mishin V.N. The power supply system remotely operated underwater vehicles AC power exceeding 10 kW [Electronic resource] / V.N. Mishin, V.M. Rulewski, A.G. Yuditsev // Tomsk: Izvestiya TPU, 2013. – S. 4. – Mode of access: [http://earchive.tpu.ru/bitstream/11683/4765/1/bulletin\\_tpu-2013-322-4-24.pdf](http://earchive.tpu.ru/bitstream/11683/4765/1/bulletin_tpu-2013-322-4-24.pdf) (in Russian).

4. RF patent № 2015151299/07, on 30.11.2015. Mishin V.N., Rulewski V.M., Yuditsev A.G., Burtsev V.E. the transmission Device power DC to remote controlled unmanned underwater vehicle // Patent of Russia. No. 163748. – 2016. Bull. No. 22 (in Russian).

5. Chekh V.A. The power supply of the remotely operated unmanned underwater vehicles / V.A. Chekh, D.Y. Lyapunov // Tomsk: Scientific session TUSUR, 2017. – P. 240–244. – Access mode: [https://storage.tusur.ru/files/61046/2017\\_2.pdf](https://storage.tusur.ru/files/61046/2017_2.pdf) Oh (in Russian).

### **STUDYING THE INFLUENCE OF THE ENVIRONMENT ON THE ACTIVE PULSE TELEVISION-COMPUTING SYSTEM OPERATION**

*A.V. Kamenskiy, postgraduate student, Television and Control dept.  
Scientific adviser M.I. Kuryachi, assistant prof., PhD in Engineering  
Tomsk, TUSUR, andru170@mail.ru*

Currently, active-impulse television-computing systems (AITCS (Fig. 1)) are used to detect, observe and measure the parameters of objects in various environmental conditions. The principle of their operation is based on the pulse method of illuminating the system's field of view by laser or LED emitters and time gating the radiation pulses reflected from the objects of observation. The systems can be used both in normal and in complicated conditions of object observation: on a sunny day, at dusk and at night, with limited or low transparency of the radiation propagation medium, with haze, fog, various precipitation, natural and artificial light interference. AITCSs have significant advantages over conventional television systems (TVS) when recording images in poor visibility conditions (fog, snow, rain, etc.). At the same time, when working in the active-pulse (AP) mode, information about the object of observation is contained only in the reflected radiation flux of the pulsed light source reflected from the object. Information about the object of observation, due to natural illumination, is almost completely lost, because the charge accumulation time at such illumination is determined only by the duration of the gating pulses of the electron-optical converter (EOC) and their number during the frame time [1, 2].

Complex conditions of visibility (fog, haze, dust, snowfall) significantly limit the detection range and the probability of recognizing objects



with traditional video surveillance systems. The main reason for limiting the range of detection and identification of objects of interest in poor visibility conditions is the effect of backscatter interference. The backscatter interference occurs due to the reflection of light from aerosols in the atmosphere.



Fig. 1. AITCS appearance

In order to quantify the resolution of images produced by video cameras, it is customary to consider the number of separately distinguishable vertical and horizontal lines. Since the luminance component has a wider (by 4 times) spectrum than the color coding, there is a resolving power in the brightness channel and a color resolution [3, 4].

To visually measure the resolution of the video image, there exist special test tables in which groups of lines of variable thickness are represented in the form of «wedges».

In order to completely determine the resolution, we need to know not the number, but the function – the contrast between the black and white lines versus the number of lines in the frame, the so-called contrast-frequency response (CFR), which is allowed by the program Imatest [5].

Test images were obtained in the Large Aerosol Chamber (LAC); its look is shown in Fig. 2.



Fig. 2. Inside view of the test chamber

During the experimental studies in the LAC, we created conditions of strong fog with the help of water-glycerin mixture and smoke. After the creation of a dense veil, we conducted the experiment, during which we surveyed test tables located in the test chamber in the process of scattering the medium. The survey was conducted at approximately the same time intervals.

Figure 3 shows the fragments of the images obtained on which you can clearly see the changes in the quality of the resulting image.

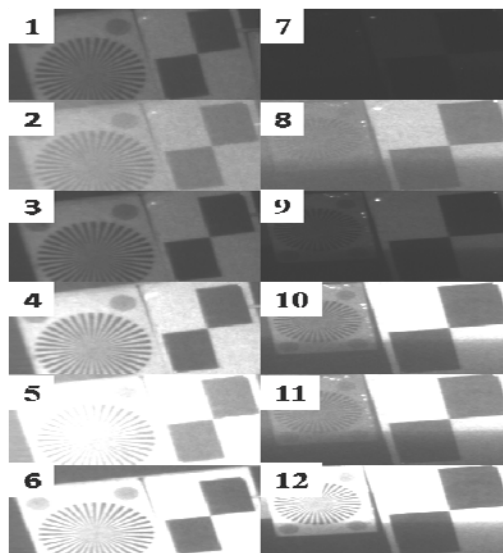


Fig. 3. The resulting image fragments

Table 1 shows the changes in the resolution of images obtained during the experiment.

**Measurement results of resolution of received images**

№	Fog		Smoke	
	MTF50	TVL	MTF50	TVL
Initial	0,224	323	0,224	323
1	0,179	258	0,202	291
2	0,188	271	0,22	317
3	0,182	262	0,199	287
4	0,186	268	0,22	317
5	0,209	301	0,22	317
6	0,185	266	0,353	508

Analyzing the data on the resolution of resulting images, as well as having made a visual assessment of the frames taken from the captured video, we can draw the following conclusions:

1. More influence on the work of AITCS is exerted by fog, rather than smoke as a hindrance; a moist mist exerts more influence on the work of the system than dry smoke. This is due to the fact that the AITCS system uses laser illumination.

2. With a visual assessment, it can be seen that the less fogged or smoked the image is, the better the picture is displayed, but because of the backlight in the AITCS, there appears the effect of the exposure of the resulting image.

#### REFERENCES

1. Pustynsky I.N. Methods and means of increasing noise immunity and image quality of active-impulse television-computer systems / I.N. Pustynsky and etc. // TUSUR reports. – 2017. – T. 20, № 3. – PP. 86–89.

2. Karasik V.E. Laser vision systems: tutorial / V.E. Karasik, V.M. Orlov. – M.: Publishing house MGTU indy N.E. Baumana, 2001. – 352 p

3. Kamenskiq A.V., Malanin M.Yu. Measurement of resolution in television images using software // Scientific session of TUSUR–2014. Materials of the All-Russian Technical Conference of Students, PhD Students and Young Scientists, Tomsk, 14–16 May 2014 g. – Tomsk: V-Spectr, 2014: In 5 parts. – P. 1. – P. 79–81.

4. Kamenskiq A.V., Malanin M.Yu., Kuryachiy M.I. Evaluation of the resolution of video cameras on the characteristic fragments of the formed images // Dynamics of systems, mechanisms and machines. – 2016. – T. 2, № 1. – PP. 78–83.

5. Malanin M.Yu. Optimization of parameters of two-dimensional filters to increase the clearness of television images on contrast to frequency characteristics / M.Yu. Malanin, A.V. Kamenskiq, M.I. Kuryachiy // Control and Communications (SIBCON): IEEE 2015 International Siberian Conference on. – 2015. – P. 1–4.

#### NUMERICAL APPROXIMATION OF TABLE FUNCTIONS BASED ON MULTIDIMENSIONAL OPTIMIZATION METHODS

*M.I. Kochergin, postgraduate student, assistant of the Department of Computer Control and Design Systems*

*Scientific adviser V.M. Dmitriev, Professor of the Department of Computer Control and Design Systems*

*Tomsk, TUSUR, max24kochergin@gmail.com*

Functions used in mathematical models can be specified both in analytical and tabular forms, when the values of the function are known only for certain discrete values of the argument. In practice we may need the function values at other points than those specified in the table. This problem can be solved by approximating the obtained table function  $f(x)$  with

some simpler one  $g(x)$ . The choice of the approximating function is determined by the value of the error (deviation at discrete points). A standard approximation method is a method of least squares (MLS), which allows us to minimize the approximating function deviance at an arbitrary number of points.

The error of the best (from the existing list) approximating function is not always acceptable. In this case, it is necessary to select another approximating function for continuous approximation, or to solve the problem by continuous piecewise approximation methods. In the first case, there are technical difficulties for software implementation of automatic analytical differentiation. Besides, the automatically obtained derivative in the analytical form can be redundant and require reduction. So information about the derivatives of a specific approximating function is usually entered manually. The solution of this problem can be the multidimensional optimization of the objective function (which is the criterion for estimating the approximation error), instead of constructing a system of linear equations (SLE) with the use of analytic differentiation.

The aim of the article is to present an approximation method based on multidimensional optimization methods that does not require information about derivatives of the approximating function and allows using any functions as approximating ones.

**Numerical approximations based on multidimensional optimization methods.** We suggest using the standard deviation in the nodes of the tabular function as a criterion for the quality of approximation. Thus we turn from the approximation problem to the problem of multidimensional optimization of the function  $f(x, a, b, c)$  by criterion

$$\sqrt{\sum_i (y_{table_i} - f(x_i, a, b, c))^2} \rightarrow \min$$

(where  $y_{table_i}$  is the table function values,  $x_i$  is the table function arguments;  $a, b, c$  are the parameters of the approximating function). To solve this problem, we use a modification of the coordinate descent method which assumes the use of the golden section method to optimize the function of one variable on each axis in turn. The coordinate descent method is a simple non-gradient method of local optimization; the method of golden-section search also does not require information about the derivative of the optimized function and has a higher convergence in comparison with similar methods. The initial point of the coordinate descent and the interval for finding the minimum value of a function along one of the coordinates is determined by the grid method with some fixed step. The combination of local optimization methods allows solving the task of global optimization of the loss function  $f(x, a, b, c)$ .

Below is a comparison of the results of applying the suggested method and the method of least squares for approximating the flight trajectory of a body in the atmosphere obtained as a result of computer simulation [3]. Thus, we have 697 nodes of the table function.

We chose a quadratic function  $f(x) = a \cdot x^2 + b \cdot x + c$  as an approximating function for both methods. The SLE was manually compiled because of the necessity to find partial derivatives of the approximating function. We chose the Gauss method for solving SLE. We set the following parameters for the suggested approximation method based on multidimensional optimization: the grid pitch is 0.25; the starting interval for all coordinates is  $[-10, 10]$ ; the specified accuracy for the golden section method is  $10^{-6}$ . The results of the approximation of dependence  $y(x)$  are presented in Table.

**Comparison of the approximation results**

The method	Approximating function coefficients			Standard deviation
	$a$	$b$	$c$	
MLS	-0.00473	1.07290	-1.36893	<b>0.50734</b>
Suggested method	-0.00473	1.072 <b>60</b>	-1.35730	<b>0.50753</b>
	$\delta$	0.0279%	0.0281%	0.8497%
				0.0373%

Thus, under given conditions, the proposed approximation method provides the accuracy comparable to the accuracy of the least squares method. Also the application of this method does not limit the user to use only built-in approximation functions: the user can enter the required function (in an analytical form in the interactive math panel of the modeling environment MARS) and get the values of its parameters ensuring the minimum standard deviation.

**Conclusion.** The use of the least squares method to approximate table functions requires the availability of information about the partial derivatives of the approximating function under consideration. But the software used for the approximation may not contain the function required by the user. The proposed approximation method allows us to select the coefficients of the approximating function without information about its derivatives. The method accepts the solution of the approximation problem through the multidimensional optimization of the objective function which is standard deviation. To solve the optimization problem, it is proposed to use the grid method to find the initial point for the descent and a combination of the coordinate descent method and the golden section method to solve the local optimization problem. The application of the grid method allows us to find several local minima, which allows us to solve the prob-

lem of global optimization. The considered example of the approximation of the body flight trajectory in the atmosphere illustrates the comparability of the results obtained from the proposed method and the least squares method ( $\delta_{\max} < 1\%$ ). The next essential task is to improve the rate of convergence of the proposed method.

## REFERENCES

1. Kochergin M.I. Primenenie interaktivnykh matematicheskikh panelej dlya modelirovaniya fizicheskikh zadach v ramkah srede mnogourovnevnogo modelirovaniya [Application of interactive mathematical panels for modeling physical problems within a multilevel modeling environment] // Modelirovanie. Fundamental'nye issledovaniya, teoriya, metody i sredstva: materialy 17-oy Mezhdunar. nauch.-prakt. konf., g. Novocherkassk, 26–27 sent. 2017. – Novocherkassk: Lik, 2017. – P. 54–60 (in Russian).
2. Dmitriev V.M., Shutenkov A.V., Zajchenko T.N., Gandzha T.V. MARS – sreda modelirovaniya tekhnicheskikh ustrojstv i sistem [MARS – modeling environment of technical devices and systems]. – Tomsk: V-Spekt, 2011. – 278 p. (in Russian).
3. Kochergin M.I. Komp'yuternoe modelirovanie poleta tela v atmosfere dlya obrazovatel'nykh celej [Computer modeling of body flight in the atmosphere for educational purposes] // Novye informacionnye tekhnologii i sistemy: sb. nauch. st. XIV Mezhdunar. nauch.-tekh. konf., posvyashch. 70-letiyu kafedry «Vychislitel'naya tekhnika» i 30-letiyu kafedry «Sistemy avtomatizirovannogo proektirovaniya» (g. Penza, 22–24 noyabrya 2017 g.). – Penza: Izd-vo PGU, 2017. – P. 400–404 (in Russian).

## THE STUDY OF THE HEAT RETENTION EFFICIENCY IN THE ROOM

*A.M. Mukashev, S.I. Abramchuk, Postgraduate students;  
I.A. Kuan, Master student, Department of Telecommunication  
and Basic Principles of Radio Engineering*

*Scientific supervisor A.V. Pugovkin, Professor, Department  
of Telecommunication and Basic Principles of Radio Engineering  
Tomsk, TUSUR, pugovkinav@ngs.ru*

Under the climatic conditions of Russia and a number of other countries, the heating systems of buildings are the most energy-intensive of engineering systems [1]. The payment for heat energy is more than half of all utility payments. In this regard, there is no doubt about the relevance of the problem of consumed thermal energy rational use. Control and monitoring of indoor thermal conditions represent an important task with the aim of ensuring suitable working and living spaces to people [2].

This task requires solving two problems:

- finding the efficiency of heat recovery from heaters [3];
- finding the efficiency of heat retention in the room [4].

Strangely enough, to date, these problems have not found a sufficient solution. It is necessary to solve the important task of automated continuous instrumental monitoring using an operative measurement of the heat transfer coefficient of the heating device and the heat transmission coefficient through the internal boundary under operating conditions.

When the buildings are commissioned, there is no way to evaluate the energy efficiency of buildings. Thermal imaging can only provide qualitative information on the presence of defects in the heat shield and is practically useless in determining the quantitative parameters of energy efficiency. In the end, all this leads to increased energy consumption of buildings [4].

The tasks of the efficient work of the heating device and the control of the thermal regime can be examined in a simplified manner as follows. According to the Law of Conservation of Energy, the incoming power from the heat source should be equal to the power consumed through the outer internal boundaries. Accordingly, the better the thermal protection of fences, the less heat will go into the external environment and the less heat is required from the source.

In the stationary regime, the expression for the power can be written in the following form, according to the Newton-Richman equation:

$$h_2 \cdot (T_3 - T_1) = h_1 \cdot (T_1 - T_a), \quad (1)$$

where  $h_1$  is the heat transfer coefficient of internal boundary;  $h_2$  is the heat transfer coefficient of a heater;  $T_1$  is the indoor air temperature;  $T_a$  is the ambient air temperature;  $T_3$  is the temperature of a heater.

The left side of the equation is the multiplication of the heat transfer coefficient of the heating device by the difference between the average temperatures of the heater and the indoor air temperatures. The right-hand side is the multiplication of the heat transfer coefficient of the internal boundary by the difference between the average air temperatures and ambient temperatures. We do not know how to find these coefficients in real conditions. In addition, the coefficients themselves are functions of temperatures. Thus, it is necessary not only to organize temperature measurements, but also to find coefficients using an automated system. This is the purpose of this work.

It should be noted that the mathematical description of thermal processes in buildings and rooms must be realized in a dynamic mode, when the heat flows and the parameters of the thermal circuit depend on the time, which requires the use of differential balance equations.

With known values of  $\Delta T$ ,  $h_2$  and  $h_1$ , taking into account equation (1), the following parameters can be calculated:

the heat output from the heating device:

$$P_2 = h_2 \cdot (T_3 - T_1), \quad (2)$$

the heat leakage through internal boundaries:

$$P_1 = h_1 (T_1 - T_a). \quad (3)$$

Thus, we see that in accordance with the first equation of the system (4) in the stationary state, when the air in the room does not change (the window and the door are closed), all the heat output from the heater should be consumed through the external and internal enclosing structures. We can assess the condition of external and internal boundaries and take the necessary measures to increase the efficiency of energy use with a known amount of thermal leakage.

The capacity of the room to store heat is characterized by the effective heat capacity of the premises and the objects contained in it. An attempt was made to determine the effective heat capacity of the room  $C_1$  based on a differential balanced equation (4):

$$\frac{dT_1}{dt} = \frac{h_2 \cdot (T_3 - T_1)}{C_1} - \frac{h_2 \cdot (T_1 - T_2)}{C_1} - \frac{h_a \cdot (T_1 - T_a)}{C_1}, \quad (4)$$

where  $T_2$  is the temperature of the internal boundary.

It should be taken into account that the parameter  $C_1$  must be found experimentally in a dynamic mode, when the thermal regime is brought to a non-stationary state by heating or cooling the room.

Thus, when considering the equation (4), it can be seen that the inertial properties of the room are characterized by a time constant:  $\tau_1 = C_1 / h_2$ . Therefore, knowing the value of the time constant, we can find the heat capacity  $C_1$ .

For this evaluation, the correlation analysis method was applied. The algorithm for finding the effective heat capacity is as follows:

1. Conduct experimental measurements of the ambient temperature and room air temperature daily distribution.

2. In the Matlab package, find the functions of autocorrelation of the external environment temperature and the function of mutual correlation between the room air temperatures and the external environment.

3. Calculate the amount of time delay for the air temperature in the room when the temperature of the external environment changes –  $\tau_2$  with the help of the received functions.

4. Using the obtained value  $\tau_1$ , calculate the effective heat capacity of the room using the formula:

$$C_1 = h_1 \tau_1. \quad (5)$$



In contrast to the time and spectral methods of experimental data analysis, the correlation method provides high accuracy due to the determination of the correlation maximum of the external environment temperature function of time, since with a long-term measurement (more than a day), the temperature of the external environment varies rather slowly over time. The effectiveness of the method of correlation analysis has been repeatedly proved when applied in radio engineering, radar, etc. However, in the heat engineering this method is practically not used.

#### REFERENCES

1. Vasilyev G.P., Gornov V.F., Lichman V.A., Yurchenko I.A. A method of assessing energy consumption of buildings during commissioning // ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. – 2015. – T. 10, № 15. – C. 6509–6512 (in Russian).
2. Noh S.K., Kim K.S., Ji Y.K. Design of a Room Monitoring System for Wireless Sensor Networks // International Journal of Distributed Sensor Networks. – 2013. – Vol. 1–7.
3. Tabunshchikov Y., Brodatch M. Optimal control of energy consumption for heating // ASHRAE Journal. – 2006. – Vol. 48. – P. 26–31 (in Russian).
4. Balajia N.C., Monto M/, Venkatarama Reddy BV. Discerning heat transfer in building materials // Energy Procedia. – 2014. – Vol. 54. – P. 654–668.

### **INFLUENCE OF LOSSES ON THE AMPLITUDE AND WAVEFORM OF THE ULTRAWIDEBAND PULSE IN A TURN OF MEANDER MICROSTRIP LINE WITH BROADSIDE COUPLING**

*A.V. Nosov, postgraduate student*

*of department of Television and Control*

*Scientific adviser R.S. Surovtsev, associate prof. of department of Television and Control, Ph.D.*

*Tomsk, TUSUR, alexns2094@gmail.com*

Nowadays, one of important problems is protection of radio electronic equipment (REE) against the influence of electromagnetic interference (EMI). This problem is caused by the reduction in the operating voltage of the devices and an increase of circuit density inside the equipment, which leads to an increase in the susceptibility of REE to various EMI. The most dangerous electromagnetic interference is pulses with a duration of several nanoseconds and an amplitude of several kilovolts. Such ultrawideband pulses (UWB) are able to pass into the REE and destroy its sensitive circuits. The existing protective devices are often unable to provide proper protection of REE against such EMI due to their insufficient performance, low power and parasitic parameters [1]. For protection in a wide frequency

range of influence, complex and multistage devices are used, but in practice, on the contrary, there is a requirement of simplicity and cheapness for protection devices. Therefore, we have proposed a simple method of protection of the REE from UWB pulses based on the use of modal signal distortions in a turn of meander delay line [2, 3]. The possibility of protection is demonstrated in a turn of meander line with the edge [2] and broadside [3] couplings based on a microstrip.

One of the most important stages in the design of REE is preliminary modeling and analysis. In real interconnections of printed circuit boards there are losses; therefore, it is necessary to take into account these losses in the simulation. Thus, we have studied the influence of losses on the waveform and amplitude of the UWB in a turn of meander microstrip line with the edge coupling [4]. The couplings between the conductors in the meander line with a broadside coupling are of a more complex nature, so that the influence of losses may be different. Therefore, the purpose of this paper is to estimate the influence of losses in the conductor and dielectric on the ultrawideband pulse decomposition in a turn of meander microstrip line with a broadside coupling. For an estimate of the degree of the influence of losses on the waveform, it is necessary to perform a simulation with losses and without losses and compare the results.

Figure 1, *a* presents a cross section of the investigated line. It has the same parameters as in paper [3] for providing UWB pulse decomposition: the thickness of the dielectric substrate is  $h = 1500 \mu\text{m}$ ; the width and thickness of the signal conductor are  $w = 6000 \mu\text{m}$  and  $t = 18 \mu\text{m}$ , respectively; the space between conductors is  $s = 200 \mu\text{m}$ . The base of the board selected is the FR4 material with a permittivity of  $\epsilon_{r,c} = 3.8$ .

Figure 2, *b* shows a schematic diagram of the line connections. It consists of two parallel conductors with the length  $l = 100 \text{ mm}$ , interconnected at one end. One of the conductors is connected to a pulse source, which is presented by e.m.f. source  $E$  and internal resistance  $R1$ . Another conductor is connected to the receiving unit, which is shown as  $R2$ . In order to minimize reflections at the input and output of the line,  $R1$  and  $R2$  are taken to be equal to the geometric mean of the impedance of even and odd modes of a line (50 Ohm).

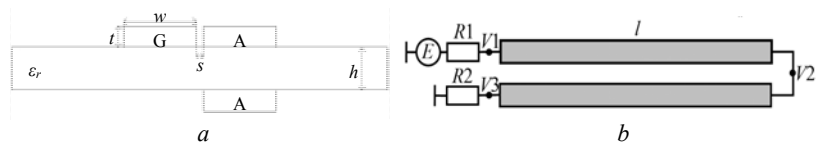


Fig. 1. Cross section (*a*) and schematic diagram (*b*) of the meander line with broadside coupling

In the simulation, we used an excited pulse with the same parameters as in work [4]: the excited pulse has a shape of a trapezium with the magnitude of the e.m.f. equal to 1 V; the duration of flat top is 100 ps; the rise and fall is 50 ps.

A simulation of the investigated line is performed in the TALGAT system [5]. In the simulation, matrices of per-unit-length coefficients of electromagnetic and electrostatic induction (the  $\mathbf{C}$  and  $\mathbf{L}$  matrices) were calculated. In order to take into account losses in the dielectric during the simulation, the per-unit-length conductance matrix  $\mathbf{G}$  was calculated. The reference value of the dielectric loss tangent, corresponding to the selected material (FR4) at frequency  $f = 1$  MHz is  $tg\delta = 0.017$ . In order to take into account losses in the conductor, additionally the per-unit-length resistance matrix  $\mathbf{R}$  was calculated. Elements of the matrix  $\mathbf{R}$  are calculated taking into account the skin effect, proximity effect, and losses in the ground plane [6]. Matrices  $\mathbf{G}$  and  $\mathbf{R}$  are given by

$$\mathbf{G} = \begin{bmatrix} 19.32 & -14.4 \\ -12.59 & 16.7 \end{bmatrix} \mu\text{Sm/m}, \quad \mathbf{R} = \begin{bmatrix} 0.355 & 0.144 \\ 0.146 & 0.182 \end{bmatrix} \text{Ohm/m}.$$

The obtained waveforms at the output of the investigated line with and without losses are presented in Fig. 3.

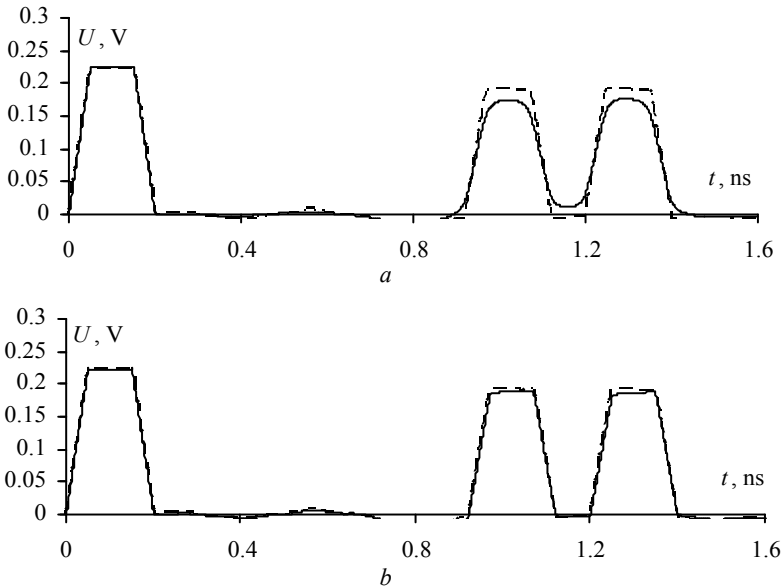


Fig. 3. Waveforms at the output of a investigated line without (---) and with (—) losses in dealectric (a) and conductors (b)

From the waveforms in Fig. 3, *a* it is seen that dielectric losses have the biggest influence on the second and third pulses, in the form of a slight decrease in their amplitudes and a smoothing of the fronts. Thus, amplitudes of the second and the third pulses do not exceed 0.174 V (with the pulse amplitude without losses equal to 0.190 V). It is also worth to note the smoothing of a waveform (that is typical for real interconnections), which causes a positive step with amplitude of 12 mV between the second and the third pulses. In this case, the losses in the conductors have practically no influence on the form and amplitude of the signal in the investigated line (Fig. 3, *b*). Thus, the amplitude of the second pulse with the account of the losses in the conductors decreased by 1 mV, and the third – by 2 mV.

Thus, the influence of losses in conductors and dielectric on the change in the form and amplitude of the UWB pulse in the turn of meander line with a broadside connection was estimated. As a result of the studies, it was found that losses in the dielectric have a more significant influence on the amplitude and form of a UWB pulse at the end of a turn of meander line than losses in conductors. It is noteworthy that in the structure of the meander line with edge coupling, on the contrary, losses in conductors have a more significant influence.

#### REFERENCES

1. Gizatullin Z.M. Investigation of the Immunity of Computer Equipment to the Power-Line electromagnetic Interference / R.M. Gizatullin, Z.M. Gizatullin // *Journal of Communications Technology and Electronics*. – May 2016. – Vol. 61, is. 5. – P. 546–550.
2. 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 (EDM)*. – Russian Federation, Altai, 29 June – 3 July, 2015. – P. 175–177.
3. Experimental confirmation of possibility of the electronic equipment protection against an ultrashort pulse by means of its decomposition in the C-section with broad-side coupling / A.V. Nosov, R.S. Surovtsev, A.M. Zabolotskiy, T.T. Gazizov // *Doklady Tomskogo gosudarstvennogo universiteta sistem upravleniya i radioelektroniki*. – 2016. – Vol. 19. – № 3. – P. 47–50.
4. Nosov A.V. Influence of losses on ultrashort pulse decomposition in a turn of meander microstrip line / A.V. Nosov, R.S. Surovtsev, T.T. Gazizov // *17th International Conference of Young Specialists on Micro/Nanotechnologies and Electron Devices*. – 2016. – P. 151–154.
5. New features of electromagnetic compatibility in TALGAT simulation software / S.P. Kuksenko, A.M. Zabolotsky, A.O. Mekozerov, T.R. Gazizov // *Doklady Tomskogo gosudarstvennogo universiteta sistem upravleniya i radioelektroniki*. – 2015. – Vol. 36, № 2. – P. 45–50.

6. Matthaei G.L. Approximate calculation of the high-frequency resistance matrix for multiple coupled lines / G.L. Matthaei, G.C. Chinn // Microwave Symposium Digest. – 1992. – P. 1353–1354.

**CHANNEL WAVEGUIDES OF PHOTONIC DEVICES  
OPTICALLY INDUCED IN LITHIUM NIOBATE  
WITH SURFACE-DOPED LAYER**

*A.D. Bezpaly, postgraduate student,*

*Quantum Radioengineering Department*

*Scientific adviser V.M. Shandarov, Lead. Sc., Prof.,*

*Dr. of Phys.-Math. Sc.*

*Tomsk, Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics,*

*id\_alex@list.ru*

The rapid development of integrated optics and photonics requires intensive studies of methods to design and form the light control elements like channel waveguides and diffraction gratings based on photorefractive materials [1, 2]. One of the ways to form similar photonic elements is optical inducing in lithium niobate ( $\text{LiNbO}_3$ ) surface- or bulk-doped by different impurities such as copper (Cu), iron (Fe) or manganese (Mn). This approach allows us to set and manage different topologies during the formation of such structures [2, 3].

The concentration rise of impurities introduced into the crystal during its growth is limited by decreasing mechanical properties of bulk sample due to the increase of defect numbers and occurrence of elastic stresses. Modern technologies of the solid-state diffusion, the ion exchange and the ion implantation allow us to significantly increase the impurity concentration within material surface layers, additionally making it possible to introduce various impurities (or their combinations) into different regions of the sample surface [4–6]. Thus, the approach of surface doping makes it possible to vary the physical properties of material surface layer within its different areas over a wide range.

The main aim of this work is experimental study of methods to form different channel waveguides including those with spatial modulation of their parameters, optically induced in lithium niobate ( $\text{LiNbO}_3$ ) sample with Cu-doped surface layer.

**Experimental setup and conditions.** Channel optical waveguides are induced within surface layer of photorefractive sample at its exposure with focused laser beam using the shift of the whole sample with respect to the light spot as it is shown in Fig. 1. Laser beam with wavelengths  $\lambda = 532$  nm (solid-state YAG: $\text{Nd}^{3+}$  laser with frequency doubling) or  $\lambda = 450$  nm

(semiconductor laser) is focused onto the doped crystal surface with 10× microscopic objective. Variation of distance between exposing light spot centers demonstrates the possibilities of optical inducing of longitudinally homogeneous, inhomogeneous and curved channel waveguides with different width.

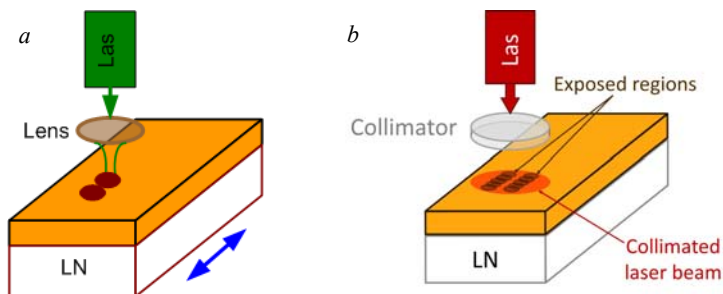


Fig. 1. Sketch of experimental setups: *a* – for optical inducing of channel waveguides within lithium niobate surface layer: LN is lithium niobate sample; *b* – for optical probing of waveguide structures

**Results and discussions.** The obtained structures were studied by optical probing method using radiation of He-Ne laser with wavelength  $\lambda = 633$  nm and output power  $\sim 1$  mW. Some particular results are shown in Fig. 2.

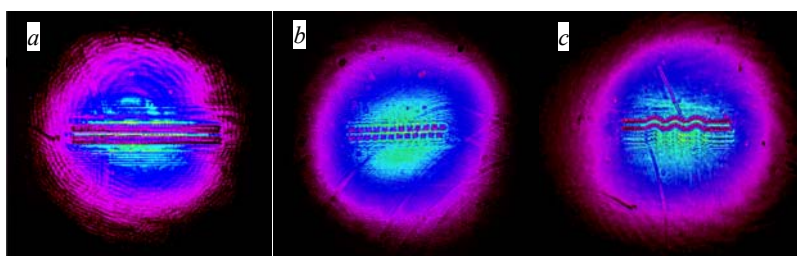


Fig. 2. Near field light patterns at optical probing of the induced channel waveguides with different homogeneities and topologies

Figure 2 demonstrates the results of the induced waveguide structures with different topology. Such dark bands contain some exposed points with a distance between their centers form 20 to 60  $\mu\text{m}$  that can determine the longitudinal homogeneity of waveguide borders. The bright areas between exposed stripes may operate as the channel optical waveguides. In the cases illustrated in Fig. 2, *a* and *b*, waveguide structures have different longitudi-

nal homogeneities which makes it possible to control an optical transfer between them. Figure 2 c shows the result of the waveguide structure with complex topology. It consists of a curved central part and two straight taps at the edges.

**Conclusion.** In conclusion, we have demonstrated that both waveguide channels and their systems may be successfully optically induced in doped surface layers of lithium niobate. Waveguide configuration is not limited by simple straight elements, the waveguide channels may be longitudinally modulated with their parameters or curvature. Such optically controlled and reconfigured elements are promising components of modern photonic devices.

**Acknowledgments.** This study was carried out with the financial support of Ministry of Education and Science of Russia (within the task N 3.1110.2017/PCh of the project part).

#### REFERENCES

1. Bazzan M. and Sada C. Optical waveguides in lithium niobate: Recent developments and applications // *Appl. Phys. Rev.* – 2015. – Vol. 2, No. 4. – P. 040603-1 – 040603-25.
2. Kroesen S., Horn W., Imbrock J. and Denz C. Electro-optical tunable waveguide embedded multiscan Bragg gratings in lithium niobate by direct femto-second laser writing // *Opt. Express.* – 2014. – Vol. 22, No. 19. – P. 23339–23348.
3. Vittadello L., Zaltron A., Argiolas N., Bazzan M., Rossetto N. and Signorini R. Photorefractive direct laser writing // *J. Phys. D: Appl. Phys.* – 2016. – Vol. 49, No. 12. – P. 1–9.
4. Kip D. Photorefractive waveguides in oxide crystals: fabrication, properties, and applications // *Appl. Phys. B.* – 1998. – Vol. 67. – P. 131–150.
5. Chen F. Photonic guiding structures in lithium niobate crystals produced by energetic ion beams // *J. Appl. Phys.* – 2009. – Vol. 106, № 8. – P. 081101.
6. Das B.K. Distributed Feedback-Distributed Bragg Reflector Couple Cavity Laser With a Ti:(Fe):Er:LiNbO<sub>3</sub> Waveguide // *Optics Letters.* – 2004. – Vol. 29. – P. 165–167.

# СОДЕРЖАНИЕ

## СЕКЦИЯ 3

### ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И СИСТЕМЫ

#### ПОДСЕКЦИЯ 3.1

##### ИНТЕГРИРОВАННЫЕ

##### ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩИЕ СИСТЕМЫ

*Председатель – Катаев М.Ю., проф. каф. АСУ, д.т.н., проф. §  
зам. председателя – Суханов А.Я., доцент каф. АСУ, к.т.н.*

*К.В. Часовников, А.С. Попов*

ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ  
КОМПЬЮТЕРНОГО ТОМОГРАФА ..... 13

*М.М. Даднова*

КЛАССИФИКАЦИЯ ТИПОВ РАСТЕНИЙ ПО RGB-ИЗОБРАЖЕНИЮ  
С ПОМОЩЬЮ ТЕКСТУРНОГО АНАЛИЗА..... 16

*М.К. Долматова*

МОБИЛЬНОЕ ПРИЛОЖЕНИЕ ДЛЯ ВИЗУАЛИЗАЦИИ МАРШРУТОВ  
ПО ГОРОДУ И ПЛАНОВ ЗДАНИЙ УНИВЕРСИТЕТОВ ..... 20

*С.М. Киселев*

ВЫДЕЛЕНИЕ СЕЗОННОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ ВАЛЮТНОГО КУРСА .... 22

*О.П. Мусиенко*

ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ КЛАССИФИКАЦИИ  
ОБЛАЧНОСТИ ПО СПУТНИКОВЫМ ДАННЫМ MODIS ..... 26

*М.А. Пищук, П.Г. Нестеренко*

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ГЕТЕРОГЕННОЙ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ НА  
ОСНОВЕ САМОНАСТРАИВАЮЩЕЙСЯ СЕТИ С РЕТРАНСЛЯЦИЕЙ ..... 29

*М.А. Журавлёв*

НЕЧЁТКАЯ СИСТЕМА ВЫБОРА МОДЕЛИ РАЗРАБОТКИ  
ПРОГРАММНОГО ПРОДУКТА ..... 32

*А.Б. Михайлов*

ИНТЕГРАЦИЯ ПРОМЫШЛЕННОГО ОБОРУДОВАНИЯ  
В СЕТЕВУЮ МОДЕЛЬ ОБМЕНА ДАННЫМИ НА ОСНОВЕ  
КОНТРОЛЛЕРОВ MODICON M251 ..... 35



## **ПОДСЕКЦИЯ 3.2**

### **РАСПРЕДЕЛЁННЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И СИСТЕМЫ**

*Председатель – Сенченко П.В., декан ФСУ, доцент каф. АОИ, к.т.н.*

*Е.А. Бажукова*

СИСТЕМА РАСПРЕДЕЛЕННОГО ХРАНЕНИЯ И ДОСТУПА К ДАННЫМ АППАРАТНО-ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ДИСТАНЦИОННОГО ПОИСКА И МОНИТОРИНГА МЕСТОРОЖДЕНИЙ УГЛЕВОДОРОДОВ.....	38
--	----

*И.В. Скляров, М.Г. Крашенинников, П.Ю. Найданов*

МОДЕЛЬ ХРАНЕНИЯ УНИВЕРСАЛЬНОГО формата ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСКИХ ДАННЫХ.....	41
--	----

## **ПОДСЕКЦИЯ 3.3**

### **АВТОМАТИЗАЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ В ТЕХНИКЕ И ОБРАЗОВАНИИ**

*Председатель – Дмитриев В.М., проф. каф. КСУП, д.т.н.;*  
*зам. председателя – Ганджа Т.В., доцент каф. КСУП, к.т.н.*

*И.О. Аксененко*

ПРОЕКТИРОВАНИЕ МОДЕЛИ НЕЙРОННОЙ СЕТИ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ АВТОМАТИЧЕСКОЙ РАЗМЕТКИ ТЕКСТОВОГО КОНТЕНТА.....	44
--	----

*С.Н. Немятов, А.С. Букреев*

РЕШЕНИЕ ПРЯМОЙ ЗАДАЧИ КИНЕМАТИКИ В СРЕДЕ МОДЕЛИРОВАНИЯ МАРС.....	48
---	----

*Н.Н. Садыков, А.М. Емельянов, Э.Х. Зулпукаров,  
А.В. Трифанов, Е.С. Усков*

СОЛНЕЧНЫЙ ТРЕКЕР.....	50
-----------------------	----

*П.А. Кириллов, А.А. Гуртовенко*

ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ.....	52
---	----

*В.С. Куринька, Т.В. Ганджа*

СТРУКТУРНАЯ СХЕМА АППАРАТНО-ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ «УМНОЙ ТЕПЛИЦЫ НА ГИДРОПОНИКЕ».....	54
--	----

*А.А. Гуртовенко, К.Н. Калдар, Д.С. Лункин*

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА КОНТРОЛЯ ДАВЛЕНИЯ ТРАНСПОРТИРУЕМОГО ВЕЩЕСТВА В ТРУБОПРОВОДЕ.....	57
--	----

<i>А.А. Гуртовенко, К.Н. Калдар, Д.С. Лукин</i> ПОЛУЧЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБЪЕКТА УПРАВЛЕНИЯ.....	60
<i>В.А. Павлин</i> Аппаратная часть АВТОМАТИЗИРОВАННОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ ВЫРАЩИВАНИЯ РАСТЕНИЙ.....	63
<i>Ф.Д. Пираков, А.А. Османова</i> РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОННОГО РЕЙТИНГА В ВУЗЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГРАММЫ ЭЛЕКТРОННОЕ ПОРТФОЛИО ....	67
<i>Б.В. Ширяев</i> АЛГОРИТМ БРЕЗЕНХЭМА ДЛЯ СИСТЕМ ЧПУ С N-МЕРНЫМ ПРОСТРАНСТВОМ .....	70
<i>Д.В. Зарипов</i> АЛГОРИТМ И СИСТЕМА КЛАСТЕРИЗАЦИИ ЗАПИСЕЙ СИСТЕМНЫХ ЖУРНАЛОВ ОС .....	73

#### **ПОДСЕКЦИЯ 3.4**

#### **МОДЕЛИРОВАНИЕ В ЕСТЕСТВЕННЫХ И ТЕХНИЧЕСКИХ НАУКАХ**

*Председатель – Зариковская Н.В., доцент каф. ЭМИС, к.ф.-м.н.;*  
*зам. председателя – Колотаев И.В., разработчик*  
*ООО «СибирьСофтПроект»*

<i>Н.Д. Березина</i> СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ ПОДВИЖНОГО ОБЪЕКТА.....	76
<i>А.А. Бояркина</i> ИДЕНТИФИКАЦИЯ ГИДРАТА ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ГАЗОКОНДЕНСАТНЫХ СКВАЖИН.....	79
<i>А.А. Бунаев</i> РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ПРОЦЕССА НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ СЕПАРАЦИИ .....	82
<i>С.Н. Дронова</i> МЕТОДЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ОПТИМАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ РЕСУРСОВ НА ПРЕДПРИЯТИИ .....	85
<i>С.И. Филиппова</i> ВЛИЯНИЕ СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ НА ПОСЕЩЕНИЕ САЙТОВ ....	88
<i>М.И. Кочергин</i> АЛГОРИТМ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ АППРОКСИМАЦИИ ЧЕРЕЗ ЗАДАЧУ МНОГОМЕРНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ.....	92

<b>А.Е. Косова</b>	
УПРАВЛЕНИЕ МАЛЫМ БЕСПИЛОТНЫМ ЛЕТАТЕЛЬНЫМ АППАРАТОМ НА ОСНОВЕ ЗРИТЕЛЬНОГО ВОСПРИЯТИЯ.....	95
<b>Я.В. Костелей, Д.С. Жданов</b>	
АЛГОРИТМЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОЦЕНОЧНЫХ ПАРАМЕТРОВ СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТОЙ СИСТЕМЫ ПЛОДА В СИСТЕМЕ МОБИЛЬНОГО МОНИТОРИНГА.....	98
<b>Е.В. Опаров, Е.Г. Годенова</b>	
ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ ФБУ «ТОМСКИЙ ЦСМ» .....	101
<b>С. Рысбеков, А. Азизов, Д. Боранбаев, Д. Шарипова</b>	
ИССЛЕДОВАНИЕ ФИБОНАЧЧИЕВОГО АНАЛОГО-ЦИФРОВОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ.....	103

### **ПОДСЕКЦИЯ 3.5**

#### **ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ**

*Председатель – Ходашинский И.А., проф. каф. КИБЭВС, д.т.н.;*  
*зам. председателя – Сарин К.С., доцент каф. КИБЭВС, к.т.н.*

<b>А.Е. Анфилофьев</b>	
ОТБОР ПРИЗНАКОВ ДЛЯ Классификатора НА ОСНОВЕ СИСТЕМЫ АНГЕЛОВА–ЯГЕРА .....	106
<b>С.А. Ворожцов, С.Н. Аримпилов</b>	
МЕТОД БЭГГИНГА ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ НЕЧЕТКИХ КЛАССИФИКАТОРОВ .....	110
<b>М.Б. Бардамова</b>	
МЕТОДЫ ПРЕДОБРАБОТКИ НЕСБАЛАНСИРОВАННЫХ ДАННЫХ .....	112
<b>А.И. Бредихин</b>	
ПРИМЕНЕНИЕ ВЕЙВЛЕТОВ В ЗАДАЧЕ РАСПОЗНАВАНИЯ ЭМОЦИЙ ЧЕЛОВЕКА ПО ЕГО РЕЧИ .....	115
<b>И.В. Филимоненко</b>	
МЕТАЭВРИСТИЧЕСКИЙ АЛГОРИТМ «KRILL HERD» ДЛЯ ЗАДАЧИ ОПТИМИЗАЦИИ ПАРАМЕТРОВ НЕЧЕТКОГО КЛАССИФИКАТОРА.....	119
<b>В.С. Мельман, Ю.В. Шабля, Д.В. Кручинин, А.С. Кокурина</b>	
БИБЛИОТЕКА ДЛЯ РАБОТЫ С ПОЛИНОМАМИ БЕЛЛИА В МАТЕМАТИЧЕСКОМ ПАКЕТЕ WOLFRAM MATHEMATICA.....	122
<b>Н.П. Корышев</b>	
ИССЛЕДОВАНИЕ АЛГОРИТМА «СТРЕКОЗ» ДЛЯ МНОГОМЕРНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ И ОЦЕНКА РЕЗУЛЬТАТОВ ЕГО РАБОТЫ.....	126

<b>К.А. Костин, Т.С. Ламонова</b> КЛАССИФИКАЦИЯ ПАТОЛОГИЙ ДИССЕМИНИРОВАННОГО ТУБЕРКУЛЁЗА ЛЁГКИХ С ПОМОЩЬЮ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ.....	129
<b>П.И. Култаев, Д.А. Облаков</b> АЛГОРИТМЫ РАЗДЕЛЕНИЯ ЦИФРОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ НА ЗНАЧИМЫЕ И МАЛОЗНАЧИМЫЕ ОБЛАСТИ.....	133
<b>И.В. Сагалакова</b> ПОСТРОЕНИЕ ИНСТРУМЕНТАРИЯ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ РЕАБИЛИТАЦИОННОГО ПОТЕНЦИАЛА ПАЦИЕНТА НА ОСНОВЕ РЕТРОСПЕКТИВНЫХ ДАННЫХ.....	136
<b>С.С. Самсонов</b> БИНАРНЫЙ АЛГОРИТМ ОБЕЗЬЯН ДЛЯ ОТБОРА ПРИЗНАКОВ НЕЧЕТКОГО КЛАССИФИКАТОРА .....	139
<b>А.О. Слезкин</b> ОТБОР ИНФОРМАТИВНЫХ ПРИЗНАКОВ ДЛЯ НЕЧЕТКОГО КЛАССИФИКАТОРА С ПОМОЩЬЮ БИНАРНОГО АЛГОРИТМА СТАИ ЛАСТОЧЕК.....	143
<b>Ю.А. Сорокина</b> БИНАРИЗАЦИЯ АЛГОРИТМА «МОЗГОВОЙ ШТУРМ» В ЗАДАЧАХ ОТБОРА ПРИЗНАКОВ ДЛЯ НЕЧЕТКИХ КЛАССИФИКАТОРОВ.....	146
<b>М.О. Светлаков</b> ВЛИЯНИЕ ТИПОВ ЯДЕРНЫХ ФУНКЦИЙ ПЛОТНОСТИ ДАННЫХ НА ТОЧНОСТЬ СИСТЕМ ТИПА АНГЕЛОВА–ЯГЕРА .....	149
<b>С.Н. Аримпилов, С.А. Ворожцов</b> МЕТОД БУСТИНГА ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ НЕЧЕТКИХ КЛАССИФИКАТОРОВ .....	152
<b>Е.А. Звягинцев</b> РАЗРАБОТКА ИНСТРУМЕНТАРИЯ ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ КОДОВ МЕЖДУНАРОДНОЙ КЛАССИФИКАЦИИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ МЕДИЦИНСКОГО ОБСЛЕДОВАНИЯ ПАЦИЕНТОВ .....	155

### **ПОДСЕКЦИЯ 3.7**

#### **МОЛОДЕЖНЫЕ ИННОВАЦИОННЫЕ НАУЧНЫЕ И НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ ПРОЕКТЫ**

*Председатель – Дробот П.Н., доцент каф. УИ, к.ф.-м.н.;*  
*зам. председателя – Нариманова Г.Н., доцент каф. УИ, к.ф.-м.н.*

<b>А.С. Гончаров, В.М. Саклаков</b> АНАЛИТИЧЕСКИЙ МЕТОД ВЫЯВЛЕНИЯ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ГРУППЫ ЛЮДЕЙ В СЕТИ ИНТЕРНЕТ .....	158
---	-----

<i><b>В.М. Макарова, А.Е. Хальметов</b></i>	
АЛГОРИТМ УПРАВЛЕНИЯ АВТОМАТИЧЕСКОЙ НАСОСНОЙ СТАНЦИЕЙ В УСЛОВИЯХ ОГРАНИЧЕННОСТИ ИНФОРМАЦИИ.....	161
<i><b>А.А. Мышанский</b></i>	
РАЗРАБОТКА МОДУЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ДОМОФОННОЙ СИСТЕМОЙ ПО МОБИЛЬНОЙ СЕТИ.....	164
<i><b>Г.К. Ноздрин, А.С. Сарсенбаев</b></i>	
ГИБРИДНОЕ УСТРОЙСТВО УПРАВЛЕНИЯ БЫТОВЫМИ ПРИБОРАМИ НА БАЗЕ GSM- И Wi-Fi-ТЕХНОЛОГИЙ .....	166

### **ПОДСЕКЦИЯ 3.8**

#### **РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ**

*Председатель – Гордиевских В.В., ген. директор*

*ООО «СибирьСофтПроект»;*

*зам. председателя – Зариковская Н.В., доцент каф. ЭМИС, к.ф.-м.н.*

<i><b>И.А. Богданов, А.А. Алтынов</b></i>	
РАЗРАБОТКА КОМПЬЮТЕРНОЙ ПРОГРАММЫ ДЛЯ ТРЕНИНГА ПЕРСОНАЛА НЕФТЕПЕРЕРАБАТЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЙ .....	169
<i><b>Д.П. Аргунов</b></i>	
РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ЗОНДОВЫХ ИЗМЕРЕНИЙ СВЧ-МИС .....	171
<i><b>Р.А. Калюжин</b></i>	
ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ СХЕМА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИИ И ПРОВЕДЕНИЯ СОРЕВНОВАНИЙ ПО АЭРОБИКЕ .....	174
<i><b>Т.С. Койшинов</b></i>	
РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ОБФУСКАЦИИ ИСХОДНОГО КОДА, НАПИСАННОГО НА ЯЗЫКЕ ПРОГРАММИРОВАНИЯ RUTRON, И ЕЕ РЕАЛИЗАЦИЯ .....	177
<i><b>С.Е. Рыжова, Е.А. Мыцко</b></i>	
РЕАЛИЗАЦИЯ КОМБИНИРОВАННОГО МЕТОДА ДЕКОДИРОВАНИЯ НА ПРИМЕРЕ ДЕКОДЕРА ПОЛИНОМИАЛЬНОГО КОДА (17,9).....	180
<i><b>Е.В. Рудова</b></i>	
ОБРАБОТКА ПОТОКА ИЗОБРАЖЕНИЙ С ЦЕЛЬЮ ВЫДЕЛЕНИЯ ОБЪЕКТА И ИССЛЕДОВАНИЯ ОСОБЕННОСТЕЙ ПОХОДКИ ЧЕЛОВЕКА.....	183

### **ПОДСЕКЦИЯ 3.9**

#### **ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ СРЕДСТВА ПОДДЕРЖКИ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ**

*Председатель – Хабибулина Н.Ю., доцент каф. КСУП, к.т.н.;*  
*зам. председателя – Потапова Е.А., ст. преп. каф. КСУП*

*А.О. Карасенко, Ю.О. Мякочин, А.А. Гусаров*

АНАЛИЗ СПЕКТРА СИГНАЛОВ В PLC-КАНАЛЕ  
ТИПОВОГО МНОГОКВАРТИРНОГО ЖИЛОГО ДОМА ..... 186

*К.Б. Фёдоров*

ПРОЦЕДУРНАЯ ГЕНЕРАЦИЯ ЛАНДШАФТОВ ..... 188

### **СЕКЦИЯ 6**

#### **ЭКОЛОГИЯ И МОНИТОРИНГ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ. БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ**

*Председатель – Карташев А.Г., проф. каф. РЭТЭМ, д.б.н.*  
*зам. председателя – Денисова Т.В., доцент каф. РЭТЭМ, к.б.н.*

*Р.Р. Габдрахимова, Н.Я. Бикбердина*

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕАКЦИИ ЗРАЧКА  
НА ВНЕШНИЙ РАЗДРАЖИТЕЛЬ ..... 193

*Н.П. Бондарев*

ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ  
НЕФТЕДОБЫВАЮЩИХ ТЕРРИТОРИЙ ТОМСКОЙ ОБЛАСТИ  
С ПРИМЕНЕНИЕМ СПУТНИКОВЫХ ДАННЫХ ..... 198

*Е.В. Кулюкина*

ВИДОВОЕ РАЗНООБРАЗИЕ РАКОВИННЫХ АМЕБ  
ПРИ ДЕЙСТВИИ БЕНЗИНА ..... 200

*Р.А. Кусаинов, М.А. Монгуш*

СПОСОБЫ ЗАЩИТЫ ОТ ВОЗДЕЙСТВИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО  
ШУМА НА ТРУДОСПОСОБНОСТЬ ЧЕЛОВЕКА ..... 203

*Н.Н. Саликова*

ВЛИЯНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ОСВЕЩЕНИЯ  
ПРИ ПРЕДПОСЕВНОЙ ОБРАБОТКЕ СЕМЯН НА РОСТ ТОМАТОВ ..... 206

*Е.А. Шевченко*

КОЭФФИЦИЕНТЫ САМОУШИРЕНИЯ ДЛЯ МОЛЕКУЛЫ SO<sub>2</sub> ..... 209

*М.Г. Слепцов, А.П. Шкарупо*

ВЛИЯНИЕ ЖЕЛТОГО ИСКУССТВЕННОГО ОСВЕЩЕНИЯ  
НА РАЗВИТИЕ РЫБ ..... 212

<b><i>В.В. Суло, А.П. Шкарупо</i></b>	
ВЫЖИВАЕМОСТЬ УЛИТОК МАРИЗА (MARISA CORNUARIETIS) В ЗАГРЯЗНЕННЫХ БЕНЗИНОМ ВОДОЕМАХ .....	214
<b><i>Е.А. Яковлева, С.А. Калашиникова</i></b>	
ОСОБЕННОСТИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ СООБЩЕСТВ ПОЧВЕННЫХ НЕМАТОД В ВЕРХНИХ ГОРИЗОНТАХ ПОЧВЫ ГОРОДА ТОМСКА .....	216
<b><i>О.М. Жукова</i></b>	
ВЛИЯНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ОСВЕЩЕНИЯ НА РОСТ ТОМАТОВ ...	219
<b><i>К.В. Бушланова, Е.Г. Незнамова</i></b>	
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ИСКУССТВЕННОГО ОСВЕЩЕНИЯ НА ТРАВЯНИСТЫЕ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ РАСТЕНИЯ .....	221

## **СЕКЦИЯ 8**

### **POSTGRADUATE AND MASTER STUDENTS' RESEARCH IN ELECTRONICS AND CONTROL SYSTEMS**

*(на английском языке)*

*Председатель – Покровская Е.М., зав. каф. ИЯ, доцент, к.филос.н.;*  
*сопредседатели – Шнит Е.И., ст. преп. каф. ИЯ,*  
*Соболевская О.В., ст. преп. каф. ИЯ*

<b><i>И.Ю. Bakeev</i></b>	
EMISSION OF A NARROW-FOCUSED ELECTRON BEAM THROUGH A SINGLE CHANNEL OF THE FOREVACUUM ELECTRON SOURCE.....	227
<b><i>М.В. Bardamova</i></b>	
GRAVITATIONAL SEARCH ALGORITHM FOR DESIGNING TAKAGI-SUGENO SYSTEMS .....	230
<b><i>А.О. Belousov</i></b>	
WATERPROOF MODAL FILTER BASED ON FOUR-CONDUCTOR MICROSTRIP LINE .....	234
<b><i>V.A. Chekh</i></b>	
THE POWER SUPPLY OF A REMOTELY OPERATED UNMANNED UNDERWATER VEHICLE WITH HIGH VOLTAGE DIRECT CURRENT TRANSMISSION VIA A STRENGTH-POWER COMMUNICATION CABLE.....	236
<b><i>А.В. Kamenskiy</i></b>	
STUDYING THE INFLUENCE OF THE ENVIRONMENT ON THE ACTIVE PULSE TELEVISION-COMPUTING SYSTEM OPERATION.....	239
<b><i>М.И. Kochergin</i></b>	
NUMERICAL APPROXIMATION OF TABLE FUNCTIONS BASED ON MULTIDIMENSIONAL OPTIMIZATION METHODS .....	242

<i>A.M. Mukashev, S.I. Abramchuk, I.A. Kuan</i>	
THE STUDY OF THE HEAT RETENTION EFFICIENCY IN THE ROOM ...	245
<i>A.V. Nosov</i>	
INFLUENCE OF LOSSES ON THE AMPLITUDE AND WAVEFORM OF THE ULTRAWIDEBAND PULSE IN A TURN OF MEANDER MICROSTRIP LINE WITH BROADSIDE COUPLING .....	248
<i>A.D. Bezpaly</i>	
CHANNEL WAVEGUIDES OF PHOTONIC DEVICES OPTICALLY INDUCED IN LITHIUM NIOBATE WITH SURFACE-DOPED LAYER .....	252



*Научное издание*

**Сборник избранных статей  
научной сессии ТУСУР**

**По материалам  
Международной научно-технической конференции  
студентов, аспирантов и молодых ученых  
«Научная сессия ТУСУР–2018»**

**16–18 мая 2018 г., г. Томск**

**В трех частях**

**Часть 3**

**Корректор – В.Г. Лихачева  
Верстка В.М. Бочкаревой**

---

Издательство «В-Спектр».  
Сдано на верстку 10.04.2018. Подписано к печати 10.05.2018.  
Формат 60×84<sup>1/16</sup>. Печать трафаретная. Печ. л. 16,5  
Тираж 100 экз. Заказ 11.

---

Издано ТУСУР, г. Томск, пр. Ленина, 40, к. 205, т. 70-15-24  
(записано 700 CD-дисков с электронными версиями всех частей сборника  
для нужд всех структурных подразделений университета и авторов)

Издательство «В-Спектр».  
634055, г. Томск, пр. Академический, 13-24, т. 49-09-91  
E-mail: [bvm@sibmail.com](mailto:bvm@sibmail.com)