

ДЕПАРТАМЕНТ ОБРАЗОВАНИЯ И МОЛОДЕЖНОЙ ПОЛИТИКИ  
ХАНТЫ-МАНСИЙСКОГО АВТОНОМНОГО ОКРУГА-ЮГРЫ

БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
ХАНТЫ-МАНСИЙСКОГО АВТОНОМНОГО ОКРУГА-ЮГРЫ  
«СУРГУТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

---

---

## **ПРОБЛЕМЫ И РЕШЕНИЯ АВТОМАТИЗАЦИИ XXI ВЕКА**

*Материалы  
V Национальной научно-практической  
студенческой конференции*

Сургут 2022

**УДК 001(063)**  
**ББК 72**  
**Н 34**

**Н 34 Проблемы и решения автоматизации XXI века:** Сборник материалов V Национальной научно-практической студенческой конференции, Сургут, 25–26 марта 2022 г. / Редактор А.А. Исаев; Сургутский государственный университет. – Сургут: СурГУ, 2022. – 110 с.

В сборнике представлены материалы V Национальной научно-практической студенческой конференции, подготовленные по итогам научных исследований в области методов и алгоритмов обработки данных, их применения в автоматизированных системах, а также подходов в проектировании, моделировании и диагностике технических систем.

Издание предназначено для преподавателей, аспирантов и студентов, а также для всех, кого интересуют теоретические и прикладные проблемы автоматизации.

**Редакционная коллегия:**

Ф.Ф. Иванов, канд. техн. наук,  
С.А. Лысенкова, канд. физ.-мат. наук,  
Д.В. Тараканов, канд. техн. наук,  
А.С. Гордеев, Ш.И. Мугаиров

**УДК 001(063)**  
**ББК 72**

© БУ ВО ХМАО-Югры  
«Сургутский государственный университет», 2022

## СОДЕРЖАНИЕ

### *Секция I.*

#### *МЕТОДЫ, АЛГОРИТМЫ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ В АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМАХ*

*Гордеев А.С.*

**ЕСТЬ ЛИ БУДУЩЕЕ У ОТКРЫТЫХ АРХИТЕКТУР?  
НА ПРИМЕРЕ АРХИТЕКТУРЫ RISC-V** 5

*Тунян Э.Г., Сазиков Р.С*

**ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ РЕАБИЛИТАЦИИ ПИСЬМА  
ПРИ ЭФФЕРЕНТНОЙ МОТОРНОЙ АФАЗИИ  
И ОБУЧЕНИЯ ДОШКОЛЬНОГО СОСТАВА** 10

*Тунян Э.Г., Сазиков Р.С*

**МОБИЛЬНОЕ ПРИЛОЖЕНИЕ  
ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВРЕДНОСТИ ПИЩЕВОГО ПРОДУКТА** 14

*Семенова В.О.*

**РАЗРАБОТКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ОБРАЗЦА УСТРОЙСТВА  
СИНХРОННОГО ПЕРЕВОДА ЯЗЫКА ЖЕСТОВ В ЗВУКОВОЙ ФОРМАТ** 22

*Джариев И.Э., Петров Е.А., Сысоев С.М.*

**УЧЕТ ДОЛГОВРЕМЕННОГО ВЛИЯНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО  
РАЗОГРЕВА НЕФТЯНОГО ПЛАСТА НА ДЕБИТ СКВАЖИНЫ** 27

*Макарова А.М., Нгуен Ван Туан*

**АЛГОРИТМ КОХОНЕНА В ЗАДАЧАХ ДИАГНОСТИКИ  
ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ** 34

*Панин М.А.*

**WEB-ПРИЛОЖЕНИЕ ДЛЯ ПОДБОРА ВАКАНСИЙ И РЕЗЮМЕ  
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОЛОГИЙ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ** 38

*Смородинов А.Д.*

**АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА КОНСТРУИРОВАНИЯ  
ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ** 43

*Созыкин Е.Е.*

**ВЫЯВЛЕНИЕ ЗАИМСТВОВАНИЙ В ИСХОДНЫХ ТЕКСТАХ ПРОГРАММ** 50

### *Секция II.*

#### *ПРОЕКТИРОВАНИЕ, МОДЕЛИРОВАНИЕ, ОПТИМИЗАЦИЯ, ДИАГНОСТИКА И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ В ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ*

*Максудова С.А.*

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ  
СИСТЕМЫ ВЕДЕНИЯ ЗЕМЕЛЬ С/Х НАЗНАЧЕНИЯ И ИХ  
ИСПОЛЬЗОВАНИЯ, ВКЛЮЧАЯ ОБОРОТНОЕ ЗЕМЛЕДЕЛИЕ,  
РЕКУЛЬТИВАЦИЮ, АРЕНДУ** 55

*Лазарев В.С.*

**ГИБРИДНЫЙ МЕТОД ГРУППОВОГО УПРАВЛЕНИЯ АВТОНОМНЫМИ НЕОБИТАЕМЫМИ ПОДВОДНЫМИ АППАРАТАМИ В ТРЕХМЕРНЫХ СРЕДАХ, ОТЛИЧАЮЩИЙСЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДИНАМИЧЕСКИХ ОТТАЛКИВАЮЩИХ СИЛ И КЛАСТЕРИЗАЦИИ ТРЕХМЕРНОГО ПРОСТРАНСТВА**

62

*Кондрашов Д.Е., Увайсов С.У., Бушмелева К.И.*

**МЕТОДИКА ДИАГНОСТИКИ ЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА УДАРНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ ПОСРЕДСТВОМ АЛГОРИТМОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ**

67

*Бусыгин И.С.*

**МЕТОДЫ, СРЕДСТВА, ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ОТТОКА КРОВИ В БАССЕЙНЕ НИЖНЕЙ ПОЛОЙ ВЕНЫ**

73

*Семенов Е.Д.*

**АДАПТИВНОЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ВХОДНЫХ ПАРАМЕТРОВ ПРИ ДОБЫЧЕ НЕФТИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РЕКУРРЕНТНОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ**

78

*Жебель В.А.*

**КОНЦЕПЦИЯ ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМЫ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ И УПРАВЛЕНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННЫМИ ОПАСНЫМИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ**

84

*Мухаметчина В.А.*

**СТАТИСТИЧЕСКАЯ И ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ ОБРАБОТКА ДАННЫХ О НЕСАНКЦИОНИРОВАННЫХ АКТИВНОСТЯХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ**

89

*Камилов Э.М., Гавриленко Т.В.*

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕХНИКИ НЕСПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ НА ГРАФИЧЕСКОМ ПРОЦЕССОРЕ В ГРАФИЧЕСКОМ ДВИЖКЕ UNREAL ENGINE 4**

94

*Семенова Л.Л.*

**АНАЛИЗ МЕТОДОВ И СРЕДСТВ ОБНАРУЖЕНИЯ УТЕЧЕК МЕТАНА ИЗ МАГИСТРАЛЬНЫХ ГАЗОПРОВОДОВ**

98

*Димитриева Е.А., Бушмелева К.И.*

**МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ОПТИМИЗАЦИИ КОМПОНОВКИ ЭЛЕМЕНТОВ НА ПЕЧАТНОЙ ПЛАТЕ**

104

*Секция I.*  
*МЕТОДЫ, АЛГОРИТМЫ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ*  
*И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ В АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМАХ*

УДК 004.273

**ЕСТЬ ЛИ БУДУЩЕЕ У ОТКРЫТЫХ АРХИТЕКТУР?  
НА ПРИМЕРЕ АРХИТЕКТУРЫ RISC-V**

*А.С. Гордеев, аспирант, gordeev.alex@gmail.com*  
*Научный руководитель: Ф.Ф. Иванов, к. т. н., с.н.с, профессор кафедры АСОИУ*  
*Сургутский государственный университет, Сургут, Россия*

**Аннотация.** В современном мире информационные технологии играют важную роль в развитии общества и экономики, в частности. Наличие монополий в этой сфере может использоваться в политических целях. В докладе поднимается проблема монополий на рынке микропроцессоров. И приводится вариант ее решения на примере использования открытой архитектуры RISC-V.

**Ключевые слова:** процессорная архитектура, RISC-V, набор инструкций, open source, open hardware

**DOES OPEN ARCHITECTURE HAVE A FUTURE?  
BY THE EXAMPLE OF RISC-V ARCHITECTURE**

*A.S. Gordeev, graduate student*  
*Scientific supervisor F.F. Ivanov, Ph.D. Computer Science,*  
*Professor at the Department of ADPSC Surgut State University, Surgut, Russia*

**Annotation.** In the modern world, information technology plays an important role in the development of society and the economy in particular. The presence of monopolies in this area can be used for political purposes. The report raises the problem of monopolies in the microprocessor market. And a variant of its solution is given on the example of using the open architecture RISC-V.

**Keywords:** processor architecture, RISC-V, instruction set, open source, open hardware

*Введение.* До недавнего времени на международном рынке микропроцессоров можно было выделить два класса производителей процессоров:

- производят и продают сами и имеют единоличное право на выпуск процессоров на своей архитектуре (архитектура x86 компаний Intel и AMD);
- производят по приобретенным у других компаний (ARM, MIPS, например) лицензиям и технологиям. При этом необходимо внести вступительный взнос в размере от 1 до 10 миллионов долларов и затем выплачивать до 2% от прибыли с продаж [1].

Если в первом случае рынок процессоров получается монопольным, то, во втором, дает возможность компаниям, имеющим достаточно средств, наладить производство процессоров или микроконтроллеров для своих нужд и для решения своих задач.

Исторически сложилось, что ARM-архитектуры широко используется в мультимедиа системах и портативной электронике, а MIPS - в телекоммуникационном и сетевом оборудовании. Архитектура x86 доминирует на рынке серверов и в сегменте персональных компьютеров.

Но актуальной остается проблема соблюдения законности использования указанных архитектур. Компания-владелец архитектуры может на законных правах запретить выпускать процессоры со своей архитектурой или не продлить договор поставок по своему желанию, либо под политическим давлением.

*Вариант решения.* В последние годы появление и широкое распространение идеологии «open source» (программного обеспечения с открытым исходным кодом) ускорило темпы развития информационных технологий. Есть большое количество примеров применения открытого программного обеспечения в коммерческих проектах. Открытость программного обеспечения позволяет быстро находить в нём уязвимости и ошибки, так как доступно широкому кругу людей-профессионалов. Благодаря этому, в настоящий момент, почти для любого коммерческого программного продукта можно найти его бесплатный аналог и использовать или модифицировать на свое усмотрение, согласно применяемой свободной лицензии [2].

Наряду с программным обеспечением, основой информационных технологий является и аппаратное обеспечение. Как развитие идеологии открытого программного обеспечения появилось и «открытое аппаратное обеспечение».

Открытое аппаратное обеспечение (или свободное аппаратное обеспечение) — компьютерное и электронное аппаратное обеспечение, разработанное в том же стиле, что свободное и открытое программное обеспечение. Это часть открытой культуры, которая относит идеи открытого доступа и к иным областям применения (не только ПО) [3, с.1].

В качестве ярких примеров этой идеологии можно привести следующие проекты:

- 3Д принтер RepRap (2005 год, Англия);
- Arduino - открытая вычислительная платформа (2008 год, Италия);
- RISC-V — открытая и свободная система команд (ISA — Instruction Set Architecture) и процессорная архитектура на основе концепции RISC для микропроцессоров и микроконтроллеров (2010 год, Англия).

В настоящий момент не полностью ясна лицензионная политика таких проектов, поэтому для документации и исходных кодов используются лицензии, применяемые для открытого программного обеспечения.

#### Архитектура RISC-V

RISC-V – открытая и свободная система команд, и процессорная архитектура на основе концепции RISC для микропроцессоров и микроконтроллеров. Спецификации доступны для свободного и бесплатного использования, включая коммерческие реализации непосредственно в кремнии или исходный код на языках описания аппаратуры (SystemVerilog, VHDL). Она имеет встроенные возможности для расширения списка команд и подходит для широкого круга применений. Она создана в 2010 году исследователями из отделения информатики Калифорнийского университета в г. Беркли [4, с. 1].

Для развития и продвижения RISC-V в 2015 году создан международный фонд RISC-V и ассоциация со штаб-квартирой в Цюрихе. С 2018 года RISC-V Foundation работает в тесном партнёрстве с The Linux Foundation (имеет поддержку в ядрах Linux с версии 4.15).

В настоящий момент список главных партнеров проекта включает в себя 19 компаний. В него входят такие крупные компании как: Alibaba Cloud (КНР), Huawei (КНР), ZTE (КНР), Google (США), Intel (США), Unisoc (КНР), WesternDigital (США) и российская компания Syntacore. Почти 50% компаний- из КНР. Кроме этого у проекта есть и 171 стратегический партнер с не менее известными во всем мире именами (Arduino, AnalogDevices, Oculus, IBM, Nokia, Nvidia, Samsung и т.д.), в их число входят и три российских компании: AstraLinux, Base Alt, CloudBEAR [5].

На сайте проекта <https://riscv.org> в разделе «RISC-V Exchange» можно найти списки отладочных плат, список производимых систем на кристалле с поддержкой архитектуры RISC-V и список из более чем 100 проектов IP (Intelligent Privacy – интеллектуальной собственности) ядер, из которых более 40 доступны для применения под свободной лицензией (BSD, MIT, Apache, GPL и т.д.). Фактически отладочных плат и проектов больше, так как не все разработчики вовремя предоставляют информацию и некоторые появляются в списке уже по истечении года или больше после начала производства.

Начиная с 2017 года, серийно выпускается уже около 20 микроконтроллеров с ядром RISC-V. В их числе и 3 российских (рис. 1, по порядку слева):

- Текон: Дружба (32-битное ядро, 250 МГц, ОЗУ 1Мбайт, 28 нм);
- Миландр: K1986BK025 (32-битное ядро BM-310S 60 МГц, ОЗУ 112 Кбайт, ППЗУ 280 Кб);
- Микрон: МК32 (32-битное RV32IMC ядро SCR1 Syntacor, 1-32 МГц, ОЗУ 16 Кб, ППЗУ 8 Кб).



Рис. 1. Российские микроконтроллеры на архитектуре RISC-V (сайты производителей).

Описание RISC-V включает сравнительно небольшое число стандартных инструкций (около 50), многие из которых были типичны ещё для ранних RISC-I 1980 года. Стандартные расширения (M, A, F и D) увеличивают набор еще на 53 инструкции, сжатый формат C определяет 34 команды. Используется 6 типов кодирования инструкций (форматов) (рис. 2)[4, с. 3].

Формат 32-битной машинной команды (признаки — младшие биты всегда «11» и 2-4 биты # «111»)

Тип	31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Регистр/регистр	funct7							rs2					rs1			funct3			rd			код операции			1	1						
С операндом	±	imm[10:0]											rs1			funct3			rd			код операции			1	1						
С длинным операндом	±	imm[30:12]											rd			код операции			1	1												
Сохранение	±	imm[10:5]					rs2					rs1			funct3			imm[4:0]			код операции			1	1							
Ветвление	±	imm[10:5]					rs2					rs1			funct3			imm[4:1]		[11]	код операции			1	1							
Переход	±	imm[10:1]											[11]	imm[19:12]					rd			код операции			1	1						

- rs1 — номер регистра в котором находится первый операнд
- rs2 — номер регистра в котором находится второй операнд
- rd — номер регистра в который будет записан результат

Рис. 2. Форматы машинных команд RISC-V.

Как видно из рисунка, поля в команде расположены в строгом порядке, номер регистра результата всегда находится в битах с номерами 7-11 и т.д. В этом случае дешифратор команд получается простым и не занимает много места на кристалле.

RISC-V имеет 32 (или 16 для встраиваемых применений) целочисленных регистра. При реализации вещественных групп команд есть дополнительно 32 вещественных регистра.

Особенность этой архитектуры в том, что при разработке были учтены все недостатки уже имеющихся архитектур x86 и ARM. В наборе инструкций изначально заложена возможность расширения базового набора. Сжатый формат команд не требует большого усложнения конвейера, так как эта возможность заложена изначально. Для снижения зависимости команд друг от друга и упрощения механизма внеочередного выполнения в архитектуре не предусмотрен регистр состояния процессора. Нет понятия регистровых пар и операций с ними. Архитектура не подвержена уязвимостям типа Spectre и Meltdown.

В последние годы производительность вычислительных систем наращивается за счет добавления специализированных сопроцессоров: графических, тензорных, цифровой обработки сигналов, аппаратного кодирования/декодирования видео, машинного обучения и т.д. Простой набор команд и возможность их расширения позволяют использовать процессоры на архитектуре RISC-V как:

– сопроцессоры: например, процессор ET-SOC-1 фирмы Esperanto Technologies, имеет на своем кристалле 1088 процессоров RISC-V с векторным расширением [6];

– как очень производительные контроллеры: Nvidia использует в своих ускорителях процессоры RISC-V вместо проприетарного Falcon [7].

В настоящий момент стандартизовано 26 расширений команд архитектуры. Некоторые из них представлены в табл. 1 [4, с. 2].

Табл. 1. Список набора команд

Сокращение	Наименование	Версия
Базовые наборы		
RVWMO	Базовая модель согласованности памяти	2.0
RV32I	Базовый набор с целочисленными операциями, 32-битный	2.1
RV64I	Базовый набор с целочисленными операциями, 64-битный	2.1
Часть 1 Стандартные непривилегированные наборы команд		
M	Целочисленное умножение и деление	2.0
A	Атомарные операции	2.1
F	Арифметические операции с плавающей запятой одинарной	2.2
D	Арифметические операции с плавающей запятой двойной	2.2
Q	Арифметические операции с плавающей запятой четверной	2.2
C	Сокращённые имена для команд	2.2
V	Векторные расширения	1.0
Часть 2 Стандартные наборы команд для привилегированных режимов		
Machine ISA	Инструкции аппаратного уровня	1.12
Supervisor ISA	Инструкции уровня супервизора	1.12
Svnapot Extension	(Extension for NAPOT Translation Contiguity)	1.0
Svpbmt Extension	(Extension for Page-Based Memory Types)	1.0
Svinal Extension	(Extension for Fine-Grained Address-Translation Cache Invalidation)	1.0
Hypervisor ISA	Инструкции уровня гипервизора	1.0



Для применения в микроконтроллерах разрабатывается набор команд RV32E. Для упрощения записи широко применяемых инструкций в 64-битных процессорах используют RV64G, то же – в полной записи RV64IMAFD. Для работы с числами с плавающей запятой используется дополнительный набор из 32 регистров (расширения F,D,Q).

*Выводы.* В заключение хотелось бы отметить, что архитектура RISC-V в настоящий момент получает очень широкое распространение во всем мире и российские производители микроэлектроники занимают в нём одно из главных мест. Её изучение и применение уже стало приоритетным в большей части мира.

В России, в рамках выставки ChipExpo, с 2020 года проходит «Сколковская Школа Синтеза Цифровых Схем» [8]. В ее учебном плане уделено немало внимания изучению архитектуры RISC-V, на примере открытого исходного кода одноклеточного ядра schoolRISCV. С 2020 года изучение RISC-V включено в дополнительные дисциплины ФРТК МФТИ от компаний Huawei и Intel.

Согласно данным портала hh.ru, в настоящий момент уже имеется около 106 вакансий, где знание этой архитектуры является предпочтительным. Таким образом, можно сделать вывод, что будущее у открытых архитектур есть. Возможно, второй архитектуры, подобной RISC-V, не появится, и дальнейшее развитие будет идти в рамках ее расширения.

### **Литература:**

1. How ARM Makes Money [Электронный ресурс]: // AnandTech Электрон. дан. – Нью Йорк – Режим доступа: <https://www.anandtech.com/show/7112/the-arm-diaries-part-1-how-arms-business-model-works/2>.
2. Плюсы и минусы лицензий открытого ПО [Электронный ресурс]: // habr. ru: Русский коллаборативный блог. – 2009. / Автор Калинин Д. – Режим доступа: <https://habr.com/ru/post/69780/>
3. Открытое аппаратное обеспечение [Электронный ресурс]: М-л из Википедии: Версия 115500194, сохранённая в 09:04 UTC 16 июля 2021 / Авторы Википедии // Википедия. – Электрон. дан. – Сан-Франциско: Фонд Викимедиа, 2021. – Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/?curid=592608&oldid=115500194>
4. RISC-V [Электронный ресурс]: М-л из Википедии: Версия 120703416, сохр. в 08:37 UTC 17 марта 2022 / Авторы Википедии // Википедия. – Электрон. дан. – Сан-Франциско: Фонд Викимедиа, 2022. – Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/?curid=5198947&oldid=120703416>
5. RISC-V International Members [Электронный ресурс]: // RISC-V International. – Электрон. дан. – Сан-Франциско. – Режим доступа: <https://riscv.org/members/>
6. Technology [Электронный ресурс] :// Esperanto Technologies, Inc. – Электрон. дан. – Mountain View, California, – Режим доступа: <https://www.esperanto.ai/technology/>
7. RISC-V in NVIDIA [Электронный ресурс]: // RISC-V International. – Электрон. дан. – Сан-Франциско – Режим доступа: <https://riscv.org/wp-content/uploads/2017/05/Tue1345pm-NVIDIA-Sijstermans.pdf>
8. Сколковская школа синтеза цифровых схем [Электронный ресурс]: // ChipEXPO. – Электрон. дан. – Москва 2022. – Режим доступа: <http://www.chipexpo.ru/shkola-sinteza-cifrovyyh-shem-na-verilog>

УДК 004.42

## **ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ РЕАБИЛИТАЦИИ ПИСЬМА ПРИ ЭФФЕРЕНТНОЙ МОТОРНОЙ АФАЗИИ И ОБУЧЕНИЯ ДОШКОЛЬНОГО СОСТАВА**

*Э.Г. Тунян, Р.С. Сазиков,  
студенты бакалавриата, Сургутский государственный университет,  
г. Сургут, Россия, edmon.tunyan.2015@mail.ru, sazikov\_rostislaw@mail.ru  
Научный руководитель: Ю.Г. Бурыкин, ведущий научный сотрудник НИЛ  
Биокибернетики и биофизики сложных систем, зав. отделом бионики,  
медицинской биофизики и человеко-машинного взаимодействия  
Сургутского филиала ФГУ ФНЦ НИИСИ РАН*

**Аннотация.** Проект можно считать актуальным, если на него имеется спрос и он гармонично подстраивается под современные реалии, данный продукт востребован в школьной сфере, так как помогает заменить бумажные прописи, на простое и одновременно высокотехнологичное цифровое решение.

Цель проекта заключается в рассмотрении проблемы автоматизации процесса обучения письму детей дошкольного возраста и реабилитации людей после инсультов и при эфферентной моторной афазии.

Результатом является разработанное программное обеспечение, которое может самостоятельно проводить обучение письму в прописях.

**Ключевые слова:** упрощение процесса письма, реабилитация, автоматизация обучения, сокращение трат на бумажные носители, desktop сервис обучения письму, цифровое обучение

## **SOFTWARE FOR THE REHABILITATION OF WRITING IN EFFERENT MOTOR APHASIA AND PRESCHOOL EDUCATION**

*E.G. Tunyan, R.S. Sazikov,  
undergraduate students, Surgut State University, Surgut, Russia  
Scientific adviser: Y.G. Burykin, scientific employee of the Research Laboratory  
Biocybernetics and biophysics of complex systems, head. Department of Bionics,  
Medical Biophysics and Human-Machine Interaction of the Surgut Branch of the Federal  
State Institution FNTs NIISI RAS*

**Abstract.** The project can be considered relevant if there is a demand for it and it harmoniously adapts to modern realities, this product is in demand in the school sphere, as it helps to replace paper prescriptions with a simple and at the same time high-tech digital solution. The aim of the project is to consider the problem of automating the process of teaching preschool writing and rehabilitation of people after strokes and with efferent motor aphasia. The result is a developed software that can independently teach the school staff to write in words.

**Keywords:** simplification of the writing process, rehabilitation, automation of training, reduction of spending on paper, desktop writing training service, digital learning.

*Введение.* Письменная речь, в частности один из ее видов – письмо — это сложный психический процесс, имеющий свое психологическое содержание, непростую структуру и характеризующийся особыми путями его формирования, а также сложным взаимодействием с мозгом. Письмо имеет много особенностей, одно из которых является его более позднее появление в психической сфере человека по сравнению с другими высшими психическими функциями. Эта способность приобретает особое значение в методологическом плане, поскольку может служить весомым аргументом в пользу концепций Л.С. Выготского, А.Н. Леонтьева о социогенезе высшей психической функции [1], о прижизненном их формировании, о влиянии социальных форм жизнедеятельности человека на формирование, протекание и развитие высших форм психической сферы, о переходе высшей психической функции из внешней формы во внутреннюю. Эта особенность представляет большой интерес в психологическом её аспекте: в изучении её роли и места в психической сфере, в формировании и взаимодействии высшей психической функции, в плане изучения мозговых основ письма, возникновения и путей формирования письма.

На сегодняшний день известно, что процесс письма, нарушаясь вследствие поражения мозга, имеет разные формы, которые зависят от того, какое звено в структуре письма нарушено, что, в свою очередь, связано с локализацией очага поражения мозга. В настоящее время в клинике поражений мозга известны разные нарушения письма, возникающие при поражении разных участков коры головного мозга.

*Цель:* Создание программного обеспечения для реабилитации людей и обучения детей дошкольного возраста письму.

*Задачи:*

- Создание программного обеспечения для реабилитации и обучения.
- Создание визуального отчета для комфортного восприятия данных.
- Проведение первых тестов на дошкольниках и больных.
- Сбор данных для корректировки и доработки продукта.

*Актуальность продукции (ПО).* Анализируя рынок программного обеспечения, был сделан вывод, что в сфере медицинского IT не хватает базовой продукции для более быстрого и комфортного восстановления моторики рук, например, тренажерный комплекс «МОТОРИКА» стоит больших средств, что не всегда может себе позволить медучреждение. Схожий анализ был проведен и в секторе образования, он показал сходство с медицинской отраслью, а именно, в отсутствии цифровой продукции для более быстрого и комфортного обучения. Таким образом, был сделан выбор на данный сегмент рынка, проанализировав имеющийся состав программного обеспечения, нами не были выявлены аналоги, следовательно, мы можем занять данную нишу.

*Начало проекта Easy Write.* Организатором данной идеи выступил Бурыкин Ю.Г., ведущий научный сотрудник НИЛ “Биокибернетики и биофизики сложных систем” и по совместительству ведущий специалист отделения биоинженерии в ФГУ ФНЦ НИИСИ РАН.

Вначале мы составили маршрут нашего продвижения по созданию продукта. Разработка уникального алгоритма, который позволил бы отслеживать большинство данных в системе СИ для более комфортного представления конечному пользователю. Автоматизация определения большинства требуемых данных от системы пользователя. И, конечно же, способ взаимодействия пользователя с нашей программой, если пользователь будет использовать графический планшет и смотреть на экран монитора, то это понизит его обучаемость и качество работы, таким образом, была придумана система взаимодействия пользователя с графическим планшетом, у которого есть экран, иначе говоря, мы транслируем изображение на экран планшета [2].

*Структура работы программы. Авторизация.* После приобретения программного обеспечения пользователем, ему на указанную почту приходит письмо, где указан логин и пароль от учетной записи, которая была ему присвоена, пользователю необходимо зарегистрировать её под свой компьютер [3]. Во вкладке "Зарегистрироваться" необходимо

внести данные от полученной учетной записи, чтобы связать её со своей системой, HWID определяется автоматически и шифруется через MD5. После успешной авторизации можно использовать продукт (рис. 1).



Рис. 1. Авторизация в программе

*Настройки.* В разделе «Настройки» выделены 3 пункта, это настройки теста, приложения и экрана, пройдемся по каждому из них [4].

Настройки теста включают в себя размер и скорость маркера, значения указываются в миллиметрах и миллиметрах/секунду соответственно.

Настройки приложения включают в себя изменение цвета фона и маркера, включение/отключение звукового сигнала отдаления маркера, прозрачность маркера и фона, а также выбор звукового сигнала и создание отчетности для пользователя.

Настройки экрана включают в себя автоматическое определение разрешения экрана (можно использовать и в ручном режиме), а также настройку диагонали монитора, всё это влияет на точность данных, используемых в отчетах.

Все базовые настройки имеют функцию автосохранения в config файл для более комфортного использования [5].

*Выборка изображения.* После реализации всех выше указанных настроек, мы можем выбрать изображение, с которым будем работать. Изображение подгружается из базы, которая идет в комплекте с программой и постоянно получает обновление в течении месяца. Комплект имеет обширный выбор от прописи символов и знаков препинания, до различных слов и предложений (рис. 2).

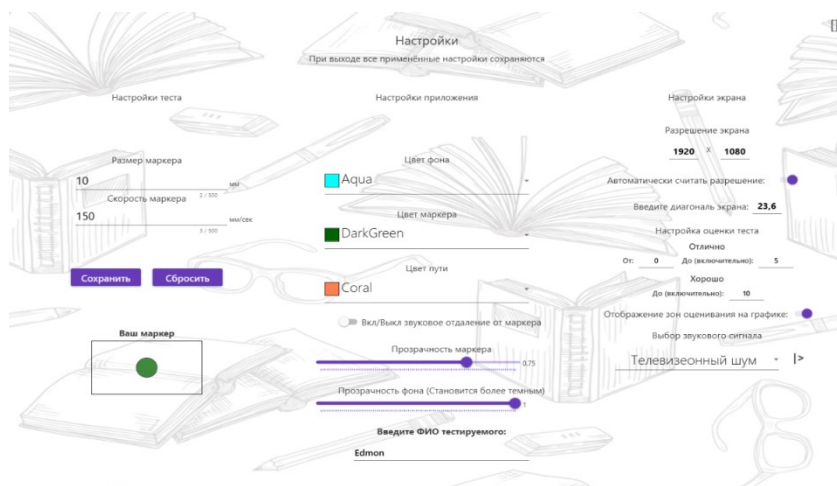


Рис. 2. Окно настроек программы

*Отчет.* Все отчётные формы сохраняются в pdf файл для комфортного анализа пользователем, начиная от графов, заканчивая анализом и сравнением уже ранее проведенных тестов, чтобы составить рейтинговую систему и показать, к чему нужно стремиться.

*Заключение.* Разработка программного обеспечения не останавливается, в перспективе добавление иного функционала, который положительно скажется на обучении и реабилитации людей, а также создание web аналога, для комфортной работы в онлайн. Мы стараемся полноценно использовать век цифровых технологий, чтобы минимизировать потребление бумажных носителей.

#### Литература:

1. ВПФ URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Высшие\\_психические\\_функции](https://ru.wikipedia.org/wiki/Высшие_психические_функции) (Дата обращения 20.09.2021)
2. Документация для создания правильных прописей URL: <https://www.nekin.info/e21.htm> (Дата обращения 20.09.2021)
3. Документация для MySQL URL: <https://dev.mysql.com/doc/> (Дата обращения 20.09.2021)
4. Документация для Visual Studio URL: <https://docs.microsoft.com/ru-ru/dotnet/desktop/wpf/?view=netdesktop-5.0> (Дата обращения 20.09.2021)
5. Документация для Visual Studio System.Data.SqlClient URL: <https://docs.microsoft.com/ru-ru/dotnet/api/system.data.sqlclient.sqlconnection?view=dotnet-plat-ext-5.0> (Дата обращения 20.09.2021)

УДК 004.415

## МОБИЛЬНОЕ ПРИЛОЖЕНИЕ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВРЕДНОСТИ ПИЩЕВОГО ПРОДУКТА

*Э.Г. Тунян, Р.С. Сазиков, студенты бакалавриата,  
edmon.tunyan.2015@mail.ru, sazikov\_rostislaw@mail.ru  
Научный руководитель: Т.В. Гавриленко, к.т.н., доцент каф. АСОИУ,  
Сургутский государственный университет, г. Сургут, Россия*

**Аннотация.** Цель статьи заключается в рассмотрении проблемы здорового питания, анализа существующих решений, а также поиска и выявления причин, по которым существующие решения не могут решить эту проблему. Используя современные средства, найти способ решения данной проблемы и разработать мобильное приложение, реализующее найденное решение.

**Ключевые слова:** здоровое питание, экологический чистый продукт, биопродукты, состав продукта, E-коды продукта, автоматизированная система сбора и анализа данных, мобильное приложение для сканирования состава продуктов

## MOBILE APPLICATION FOR DETERMINING THE HARMFULNESS OF A FOOD PRODUCT

*E.G. Tunyan, R.S. Sazikov, undergraduate students  
Scientific adviser: T.V. Gavrilenko, candidate of technical sciences, associate professor  
of the department ASOIU, Surgut State University, Surgut, Russia*

**Abstract.** The purpose of the article is to consider the problems of healthy eating, analyze solutions, and search and identify the reasons why solutions cannot solve this problem. convenient modern means to find a way to solve this problem. Develop a mobile application that implements the found solution.

**Keywords:** healthy nutrition, ecological clean product, bioproducts, product composition, product E-codes, automated data collection and analysis system, mobile application for scanning product composition

*Введение.* Изменение качества жизни неизбежно связано с формированием экологических потребностей как новой экономической категории, под которой понимается состояние индивида, обусловленное его экологическим воспитанием и экологической сознательностью.

«Мы едим для того, чтобы жить, а не живем для того, чтобы есть». Этот афоризм известен многим, рано или поздно мы сталкиваемся с ним в нашей жизни. Правда, чаще всего бывает все-таки наоборот, и еда — это то, что приносит удовольствие и дает человеку возможность расслабиться.

Конечно, пища необходима всем организмам, спорить с этим трудно.

Она служит источником энергии, а также строительным материалом для клеток. Но самым неразборчивым в еде биологическим видом на Земле, по-прежнему, остается человек. То, что человек отправляет себе в рот, каким бы способом он ни добывал себе пищу, должно

быть экологически чистым. В данном случае лучше сказать - безвредным для организма. С каждым годом это становится все более невыполнимой задачей, что чаще всего связано с глобальной химизацией Земли.

В прошлом веке стало резко увеличиваться число синтезируемых человеком химических веществ, вредное воздействие которых определяется подчас с опозданием. В этой связи возникает риторический вопрос: что есть? Чему отдать предпочтение: натуральным продуктам или продуктам современной индустрии? Мы полагаем, что пища, состоящая из натуральных экологически безвредных ингредиентов, предпочтительнее и полезнее, но они настолько хорошо выглядят, что порой даже экспертам довольно сложно отличить экологически чистый продукт от аналогов с дешёвыми и вредными пищевыми добавками. Некоторые могут сказать и быть уверенными, что если на упаковке написано, к примеру, «не содержит пальмовое масло», то такой продукт безвредный и к тому же на упаковке производитель написал состав продукта, но нужно задаться вопросом: как часто мы читаем состав продукта перед покупкой, если читаете - это хорошо, но очень много людей, которые даже инструкцию по приему лекарств не читают, в лучшем случае спрашивают у врача.

Есть также небольшая часть людей, которые читает и не понимает, что там написано, к тому же зачастую недобросовестные производители, чтобы не нарушить «Закон РФ от 07.02.1992 N 2300-1 (ред. от 11.06.2021) О защите прав потребителей», а конкретно, второй пункт «Статья 10. Информация о товарах (работах, услугах)», где говорится, что производитель обязан написать состав продукта на упаковке пишут его, но таким шрифтом, что даже со зрением 100% сложно прочитать, что же там написано. Возникает необходимость в инструменте, который помог бы нам либо проще читать и понимать состав, либо определить, насколько же продукт, который мы собираемся купить или съесть, является экологически чистым.

Так как мы находимся в 21 веке, есть желание, чтобы инструмент, о котором говорится выше был небольшим, всегда можно было с собой его взять, помещался бы в карман и присутствовал у всех. Таким инструментом является сегодня смартфон, так как даже у населения с низким доходом он имеется, а пользу от питания здоровой пищей любой человек рано или поздно осознает.

Первым делом можно поискать мобильное приложение в «Google Play» и «App Store». Приложений на подобную тематику довольно много, есть и сайты, но пригодных для использования и удобных приложений практически нет из-за отсутствия у данных разработчиков базы данных о продуктах, в основном просят самому добавить продукт и описание к нему с мотивацией, что через пару лет они смогут им воспользоваться.

Из существующих аналогов удачным является «Честный знак», у которого только в «Google Play» более миллиона скачиваний, но, так как у приложения цель просто снизить количество контрафакта и некачественных аналогов, он просто показывает общую информацию о продукте, и это не решает проблему. Мало людей знают, что означает тетраборат натрия (синонимы бура, боракс и т. д.) или E285, а цвет темно-желтый все знают и, исходя из логики, можно понять, что данный состав не смертельно опасный, но и пользы от него для организма не будет. Обычному пользователю в основном не хочется углубляться в сложные названия и кодировки пищевых добавок, а просто узнать, что это за добавки и насколько они безопасны.

Спрос на инструменты, позволяющие определить безопасность продукта, с каждым годом растет, а предложений хороших нет, по этой причине было решено разработать кроссплатформенное мобильное приложение, которое решит эту проблему.

Цель мобильного приложения – предоставление возможности определять уровень вредности продукта по штрих коду.

Задача: разработать мобильное приложение, которое позволит, сканируя штрих код продукта, получить состав продукта в виде E-кодов; страну, которая производит данный продукт; подлинность продукта; КБЖУ (калорийность, белки, жиры, углеводы); по нажатию

на E-код должен будет выдать всю информацию о добавке, о пользе, о вреде, о дневной норме и т.д.

*Материалы и методы.* Объект исследования – продукты питания, продаваемые в магазинах по всему миру. Это любой продукт, находящийся в свободной продаже, к ним относятся напитки как алкогольные, так и не содержащие алкоголь, продукты как упакованные заводом-изготовителем, так и упакованные импортерами, любой продукт, который легально продается.

Был произведен анализ 5 приложений данной направленности (Infood, My Food Allergies, Inged, Честный знак, Натурометр), в результате чего было выявлено, что все аналоги либо используют статическую базу данных, которая, возможно, дополняется их операторами, либо они собирают информацию о продуктах с помощью пользователей. В ходе анализа было выявлено, что подходы, применяемые аналогичными приложениями, не являются эффективными. Для анализа аналогов, случайным образом, были выбраны 7 продуктов, потом было произведено сканирование сведений о данных продуктах, по результату которого большинство аналогов не смогли найти информацию, хотя бы у двух продуктов, так как в базах данных приложений отсутствовали даже популярные продукты. Проблема связана с тем, что информацию о продуктах они собирают вручную, либо сами, либо при помощи пользователей. Из множества способов сбора информации было решено воспользоваться наиболее эффективным, на наш взгляд, это парсинг [1] или, иначе говоря, web scraping, это принятое в информатике определение синтаксического анализа.

Для этого создается математическая модель сравнения лексем с формальной грамматикой, описанная одним из языков программирования. Например, PHP, Perl, Ruby, Python. Его эффективность обусловлена тем, что процесс сбора информации производится автоматически и для этого можно использовать сайты магазинов, занимающихся продажей пищевых продуктов и расширять список сайтов, при необходимости, применяя данный подход и количество найденных продуктов, и информация о них выше на 48% и 39% соответственно (таблица 7, таблица 9). Готовых хороших баз не существует, но существует множество сайтов магазинов с продуктами и их описанием, множество форумов, которые объединяют людей, желающих питаться здоровой пищей и, используя парсинг, можно эти данные собрать в единую базу данных. Так как все вышеупомянутые данные являются открытой информацией веб-сайтов, согласно Конституции Российской Федерации и Закону об информации мы не нарушаем закон.

Сравнение с аналогами проводилось методом Томаса Саати (табл.1) [2].

Табл. 1

Список критериев	
1	Скорость
2	Кэф. нахождения товара
3	Объем информации
4	Удобство
Список альтернатив	
1	Infood
2	Натурометр
3	Inged
4	My Food Allergies
5	Честный знак
6	BioScan

В качестве экспертов анализа мобильных приложений выступили специалисты по разработке мобильных приложений.



Для оценки качества предлагаемой методики были привлечены три эксперта (специалисты по разработке мобильных приложений), которые, в соответствии с критериями, предъявляемыми к приложениям (скорость, коэффициент нахождения товара, объем информации, удобство) выставили свои собственные оценки по 10-ти бальной шкале, где 10 - приложение полностью соответствует предъявляемым критериям; 0 - полностью не соответствует предъявляемым критериям. Результаты оценки экспертов представлены в табл. 2.

Табл. 2

Результаты оценки экспертов			
Критерии / Эксперты	1	2	3
Скорость	6	8	5
Коэф. нахождения товара	9	10	10
Объем информации	10	8	10
Удобство	8	6	7

Используя коэффициент конкордации, была рассчитана согласованность мнений экспертов:

$$W = \frac{S}{\frac{1}{12} * m^2 (n^3 - n) - m * \sum T_i} \quad (1)$$

где  $S=37,25$  – сумма квадратов отклонений оценок экспертизы по каждому критерию от среднего арифметического оценок;  $n=4$  – количество критериев;  $m=3$  – число экспертов.

$$T_i = \frac{1}{12} * \sum (t_i^3 - t_i) \quad (2)$$

где  $T_i$  – число связей (видов повторяющихся элементов) в оценках  $i$ -го эксперта,  $t_i$  – количество элементов в  $i$ -й связке для  $i$ -го эксперта (количество повторяющихся элементов).

Коэффициент конкордации изменяется в диапазоне  $0 < W < 1$ . Ноль соответствует несогласованности мнений экспертов, единица – полной согласованности, если  $W \geq 0,70$  – высокая степень согласованности мнений экспертов [3]. В нашем случае  $W=0,89$  – мнения экспертов согласованы.

Анализ мнения экспертов показал, что взаимосвязь критериев имеет следующее соотношение (табл. 3).

Табл. 3

Матрица критериев				
	Скорость	Коэф. нахождения товара	Объем информации	Удобство
Скорость	1	9	3	3
Коэф. нахождения товара	1/9	1	1/4	1/3
Объем информации	1/3	4	1	3
Удобство	1/3	3	1/3	1
Сумма	1,78	17,00	4,58	7

Алгоритм принятия решения методом анализа иерархий Саати:

1. Выделение проблемы (определение цели – выбор инструмента визуализации знаний).
2. Выделение основных критериев и альтернатив (табл.1).
3. Построение матрицы попарных сравнений критериев по цели и альтернатив по критериям (см. таблица 3, таблица 5, таблица 7, таблица 9, таблица 11).
4. Применение методики анализа полученных матриц:

–находим сумму элементов каждого столбца:

$$S_j = a_{1j} + a_{2j} + \dots + a_{nj} \quad (3)$$

–делим все элементы матрицы на сумму элементов соответствующего столбца

$$A_{ij} = \frac{a_{ij}}{S_j} \quad (4)$$

Составляем матрицу

$a_{ij}$ – отношение критерия  $i$  к критерию  $j$ .

$$a_{ji} = \frac{1}{a_{ij}} \quad a_{ii} = 1$$

Табл. 4

Нормированная матрица критериев						
	Скорость	Коэф. нахождения товара	Объем информации	Удобство	Ср. знач.	%
Скорость	0,06	0,07	0,04	0,07	0,06	6%
Коэф. нахождения товара	0,56	0,59	0,48	0,64	0,57	57%
Объем информации	0,19	0,15	0,12	0,07	0,13	13%
Удобство	0,19	0,20	0,36	0,21	0,24	24%

Вывод: согласно таблице 4 для удовлетворения наших целевых потребностей наиболее весомый критерий это «Коэф. нахождения товара».

Табл. 5

Сравнение альтернатив по критериям						
Скорость	Infood	Натурометр	Ingred	My Food Allergies	Честный знак	BioScan
Infood	1	3	1	1	1	2
Натурометр	1/3	1	1/4	1/2	1/3	1/2
Ingred	1	4	1	1	1	2
My Food Allergies	1	2	1	1	1	2
Честный знак	1	3	1	1	1	2
BioScan	1/2	2	1/2	1/2	1/2	1
Сумма	4,8	15,0	4,8	5,0	4,8	9,5

Табл. 6

Нормированная матрица								
Скорость	Infood	Натурометр	Ingred	My Food Allergies	Честный знак	BioScan	Ср. знач.	%

Infood	0,21	0,20	0,21	0,20	0,21	0,21	0,21	21%
Натурометр	0,07	0,07	0,05	0,10	0,07	0,05	0,07	7%
Ingred	0,21	0,27	0,21	0,20	0,21	0,21	0,22	22%
My Food Allergies	0,21	0,13	0,21	0,20	0,21	0,21	0,19	19%
Честный знак	0,21	0,20	0,21	0,20	0,21	0,21	0,21	21%
BioScan	0,10	0,13	0,11	0,10	0,10	0,11	0,11	11%

Вывод: согласно таблице 6 лучшая скорость у "Ingred"

Табл. 7. Сравнение альтернатив по критериям

Коэф. нахождения товара	Infood	Натурометр	Ingred	My Food Allergies	Честный знак	BioScan
Infood	1	7	3	1/4	1/6	1/9
Натурометр	1/7	1	1/5	1/6	1/8	1/9
Ingred	1/3	5	1	1/2	1/6	1/8
My Food Allergies	4	6	2	1	1/5	1/7
Честный знак	6	8	6	5	1	1/4
BioScan	9	9	8	7	4	1
Сумма	20,48	36,00	20,20	13,92	5,66	1,74

Табл. 8

Нормированная матрица								
Коэф. нахождения товара	Infood	Натурометр	Ingred	My Food Allergies	Честный знак	BioScan	Ср. знач.	%
Infood	0,05	0,19	0,15	0,02	0,03	0,06	0,08	8%
Натурометр	0,01	0,03	0,01	0,01	0,02	0,06	0,02	2%
Ingred	0,02	0,14	0,05	0,04	0,03	0,07	0,06	6%
My Food Allergies	0,20	0,17	0,10	0,07	0,04	0,08	0,11	11%
Честный знак	0,29	0,22	0,30	0,36	0,18	0,14	0,25	25%
BioScan	0,44	0,25	0,40	0,50	0,71	0,57	0,48	48%

Согласно таблице 8 лучший коэффициент нахождения товара у "BioScan"

Табл. 9

Сравнение альтернатив по критериям						
Объем информации	Infood	Натурометр	Ingred	My Food Allergies	Честный знак	BioScan
Infood	1	1/2	1	1/3	2	1/4
Натурометр	2	1	2	1/2	4	1/2
Ingred	1	1	1	1/2	1/3	1/5
My Food Allergies	3	2	2	1	2	1/3
Честный знак	1/2	1/4	3	1/2	1	1/6
BioScan	4	2	5	3	6	1
Сумма	11,50	6,75	14,00	5,83	15,33	2,45

Табл. 10

Нормированная матрица								
Объем информации	Infood	Натурометр	Ingred	My Food Allergies	Честный знак	BioScan	Ср. знач.	%
Infood	0,09	0,07	0,07	0,06	0,13	0,10	0,09	9%
Натурометр	0,17	0,15	0,14	0,09	0,26	0,20	0,17	17%
Ingred	0,09	0,15	0,07	0,09	0,02	0,08	0,08	8%
My Food Allergies	0,26	0,30	0,14	0,17	0,13	0,14	0,19	19%
Честный знак	0,04	0,04	0,21	0,09	0,07	0,07	0,09	9%
BioScan	0,35	0,30	0,36	0,51	0,39	0,41	0,39	39%

Вывод: согласно таблице 10 наибольший информации показывает "BioScan"

Табл. 11

Сравнение альтернатив по критериям						
Удобство	Infood	Натурометр	Ingred	My Food Allergies	Честный знак	BioScan
Infood	1	3	1/3	1/2	2	3
Натурометр	1/3	1	2	2	1	1
Ingred	3	1	1	1/3	1/2	1/4
My Food Allergies	2	1/2	3	1	1/2	1/3
Честный знак	1/2	1	2	2	1	2
BioScan	1/3	1	4	3	1/2	1
Сумма	7,2	7,5	12,3	8,8	5,5	7,6

Табл. 12

Нормированная матрица								
Удобство	Infood	Натурометр	Ingred	My Food Allergies	Честный знак	BioScan	Ср. знач.	%
Infood	0,14	0,40	0,03	0,06	0,36	0,40	0,23	23%
Натурометр	0,05	0,13	0,16	0,23	0,18	0,13	0,15	15%
Ingred	0,42	0,13	0,08	0,04	0,09	0,03	0,13	13%
My Food Allergies	0,28	0,07	0,24	0,11	0,09	0,04	0,14	14%
Честный знак	0,07	0,13	0,16	0,23	0,18	0,26	0,17	17%
BioScan	0,05	0,13	0,32	0,34	0,09	0,13	0,18	18%

Вывод: согласно таблице 12 самое удобное приложение "Infood".

Результаты проведенного анализа (таблица 13) показывают очевидное превосходство нашего приложения над аналогами.

Табл. 13

Результаты		
Альтернативы	Вес	%
Infood	0,13	13%
Натурометр	0,08	8%
Ingred	0,09	9%

My Food Allergies	0,13	13%
Честный знак	0,21	21%
BioScan	0,37	37%

*Результаты и их обсуждение:* для получения наилучшего коэффициента нахождения продуктов и объема информации о них был применен метод парсинга. Полученная информация после обработки сервисом, разработанным нами, проще воспринимается пользователем за счет структурированности и цвета, который получает каждая добавка.

**Литература:**

1. Парсинг. Что это и где используется [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ipire.ru/info/parsing> (дата обращения: 14.02.2022)
2. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий. – М.: Радио и связь, 1993. – 320 с.
3. Айвазян С.А., Мхитарян В.С. Прикладная статистика. Основы эконометрики. Теория вероятностей и прикладная статистика. – М.: Юнита-Дана, 2001. – 656 с.

УДК 004.934

## РАЗРАБОТКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ОБРАЗЦА УСТРОЙСТВА СИНХРОННОГО ПЕРЕВОДА ЯЗЫКА ЖЕСТОВ В ЗВУКОВОЙ ФОРМАТ

**В.О. Семенова**, *semenova\_vo@bk.ru*

*Научные руководители: И.А. Шайторова, ст. преподаватель, shajtorova\_ia@surgu.ru;*

*Л.Л. Семенова, ст. преподаватель, semenova\_ll@surgu.ru*

*Сургутский государственный университет, Сургут, Россия*

**Аннотация.** В статье рассмотрены результаты разработки программного обеспечения для устройства синхронного перевода языка жестов в звуковой формат, определен язык разработки и представлены необходимые для работы итогового программного продукта библиотеки и фреймворки. Построена модель поведения программной части системы в нотациях Use Case и BPMN, также создана трехмерная модель предполагаемого дизайна внешнего вида готового устройства.

**Ключевые слова:** сурдоперевод, нейронные сети, жестовый язык, машинное зрение, машинное обучение, MediaPipe

## DEVELOPMENT OF AN EXPERIMENTAL SAMPLE OF A DEVICE FOR SIMULTANEOUS TRANSLATION OF SIGN LANGUAGE INTO A SOUND FORMAT

**V.O. Semenova**,

*Scientific supervisors: I.A. Shaitorova, senior lecturer*

*L.L. Semenova, senior lecturer, Surgut State University, Surgut, Russia*

**Abstract.** The article discusses the results of software development for the device of simultaneous translation of sign language into audio format, defines the development language and presents the libraries and frameworks necessary for the operation of the final software product. A model of the behavior of the software part of the system in the Use Case and BPMN notations is constructed, and a three-dimensional model of the intended design of the appearance of the finished device is also created.

**Keywords:** sign language translation, neural networks, sign language, machine vision, machine learning, MediaPipe

*Введение.* Итогом разработки экспериментального образца устройства синхронного перевода языка жестов в звуковой формат [1] является создание прототипа части распознавания статических и динамических жестов кисти руки.

Минимальные требования к программному обеспечению компьютера, необходимые для запуска прототипа программной части распознавания положения и типа кисти, а также статических и динамических жестов:

1. Python 3.6 или новее.
2. mediapipe 0.8.1 или новее.
3. OpenCV 3.4.2 или новее.
4. Tensorflow 2.3.0 или новее.

5. matplotlib 3.3.2 или новее.

6. scikit-learn 0.23.2 или новее.

Прототип нейронной сети как программный комплекс имеет следующие атрибуты, указанные в табл. 1.

Табл. 1. Атрибуты прототипа части распознавания жестов

Атрибут	Значение
Наименование исполняемого файла	app.py
Размер программного комплекса	5 284 823 байт (5,04 Мб)
Версия файла	1.0
Версия программного комплекса	1.0
Исходное имя программы	HandDetection
Язык пользовательского интерфейса	English (United States)

На данном этапе прототип реализует определение таких свойств и положений кисти, как:

1. Статические жесты (рис. 2):
  - a. Определение типа руки (левая/правая);
  - b. Определение статического состояния ладони (ладонь открыта/сжат кулак);
  - c. Определение указывающего жеста.
2. Динамические жесты (рис. 3):
  - a. Движение пальца по часовой стрелке;
  - b. Движение пальца против часовой стрелки.

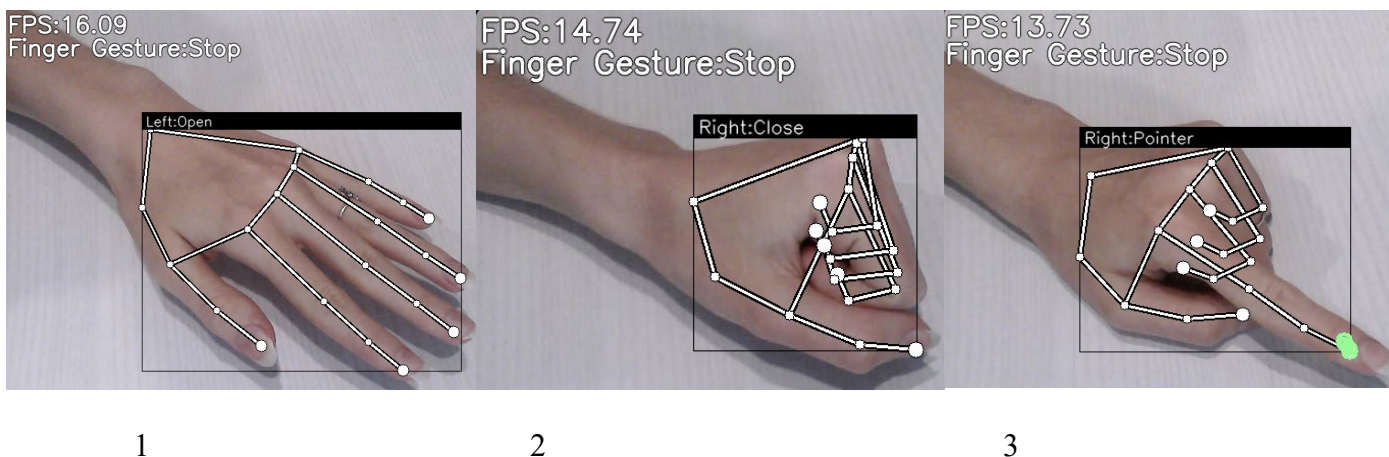


Рис. 2. Варианты определения статичных жестов: 1 – определена левая рука с раскрытой ладонью; 2 – определена правая рука с сжатым кулаком; 3 – определена правая рука с указывающим жестом

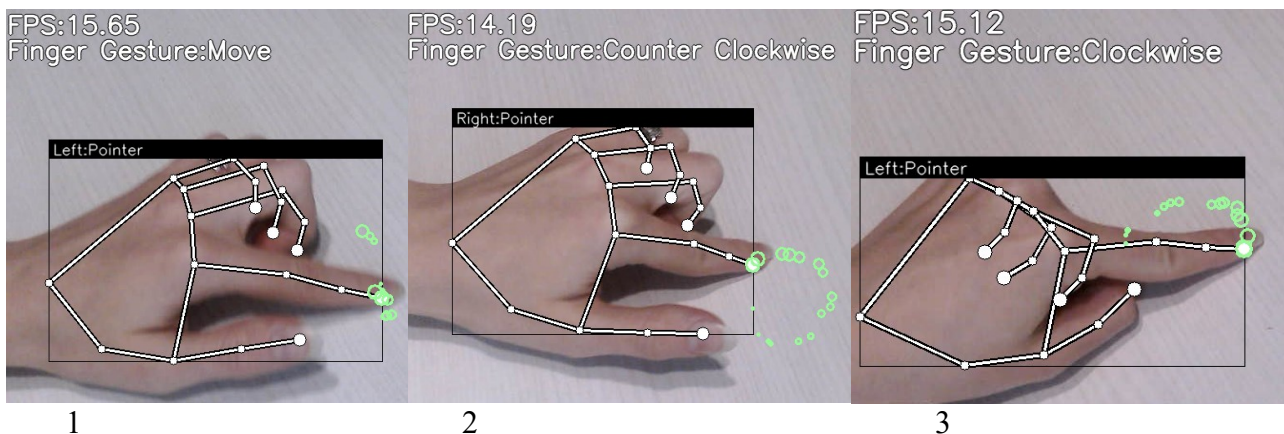


Рис. 3. Варианты определения динамических жестов: 1 – определено движение руки в кадре; 2 – определено вращение пальцем против часовой стрелки; 3 – определено вращение пальцем по часовой стрелке

Планируется, что данный программный продукт станет основной частью системы «жест-звук», которую дополнит Google Text-to-Speech API. Полный вид данной системы и ее взаимодействие с остальными частями программного комплекса были смоделированы в нотации BPMN (рис. 4). Данная нотация используется для описания процессов нижнего уровня. Диаграмма процесса в нотации BPMN представляет собой алгоритм выполнения процесса. На диаграмме могут быть определены события, исполнители, материальные и документальные потоки, сопровождающие выполнение процесса. В нотации BPMN выделяют пять основных категорий элементов:

- 1) элементы потока (события, процессы и шлюзы);
- 2) данные (объекты данных и базы данных);
- 3) соединяющие элементы (потоки управления, потоки сообщений и ассоциации);
- 4) зоны ответственности (пулы и дорожки);
- 5) артефакты (сноски) [2].

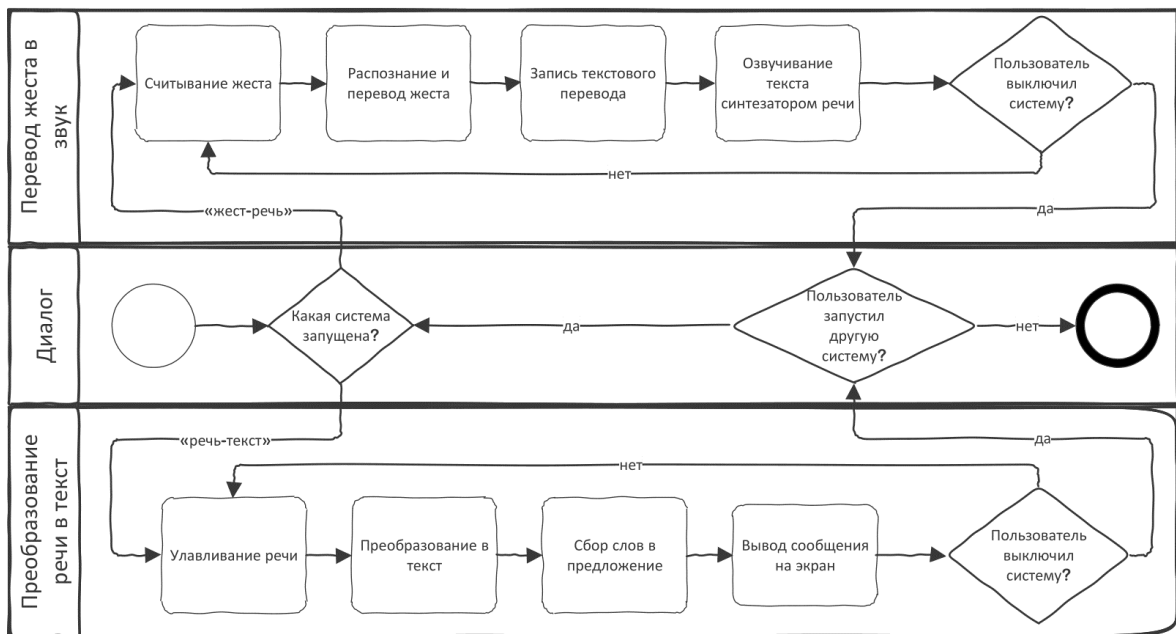
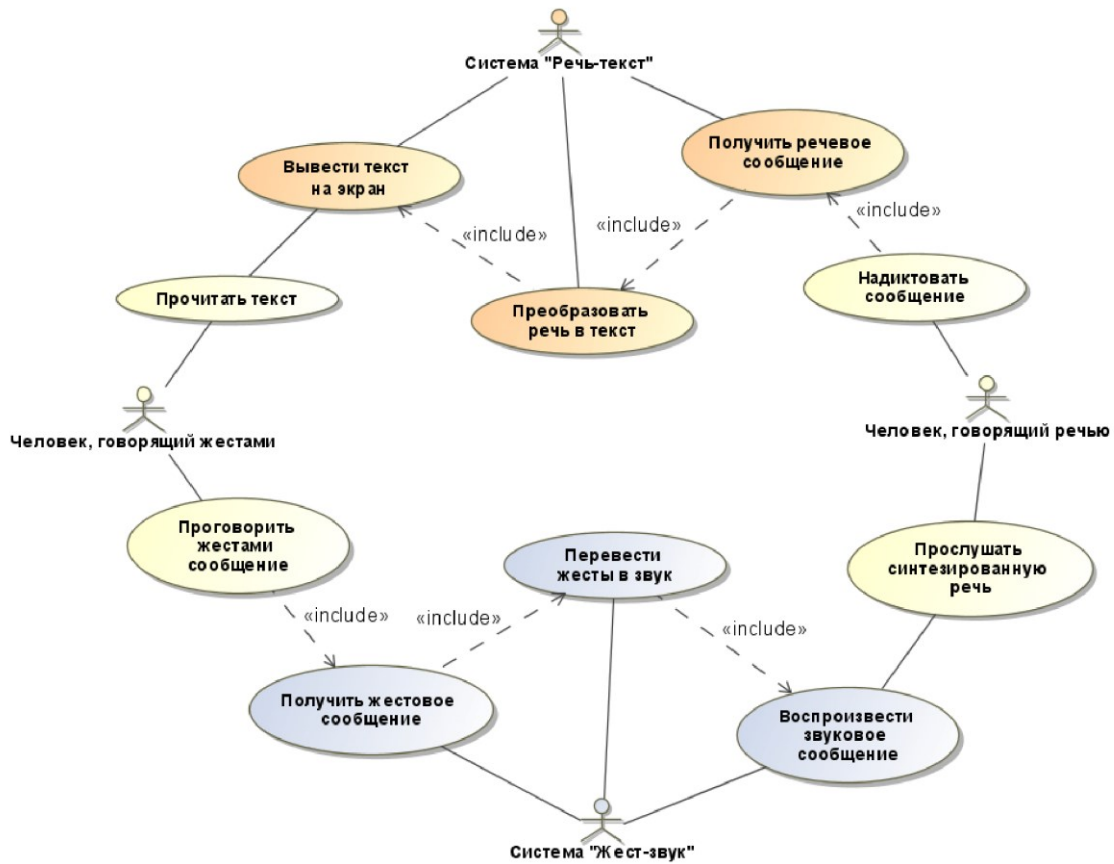


Рис. 4. Поведение программного обеспечения устройства в нотации BPMN

Также был усовершенствованы и описаны пути взаимодействия пользователя и устройства с использованием диаграммы Use Case – сценарной техники описания взаимодействия. С помощью Use Case может быть описано и пользовательское требование, и требование к взаимодействию систем, и описание взаимодействия людей и компаний в реальной жизни.

Рис. 5. Сценарий взаимодействия пользователя и программы в виде Use Case диаграммы





В общем случае, с помощью Use Case может описываться взаимодействие двух или большего количества участников, имеющее конкретную цель [3] (рис. 5).

Итогом работы над прототипом самого устройства стало проектирование дизайна внешнего вида и дальнейшее создание трехмерной модели (рис. 6), соответствующей всем требованиям к эргономичности и удобству использования.



Рис. 6. Трехмерная модель внешнего вида устройства на руке

*Выводы.* В ходе разработки экспериментального образца устройства синхронного перевода языка жестов в звуковой формат были отобраны и разработаны составные части, в частности, нейронная сеть, распознающая статические и динамические жесты, и смоделирована трехмерная модель предполагаемого внешнего вида устройства. Планируемые расчетные размеры: 7х5х1,5 см для части на внешней стороне ладони и 7х5х1 см для части на внутренней.

**Литература:**

1. Семенова В.О. Разработка устройства синхронного перевода языка жестов в звуковой формат на основе нейронных сетей // Наука 60-й параллели: тезисы докладов XXIV Молодежной конференции им. Г.И. Назина. – Сургут: Издательский центр СурГУ, 2020. С. 179.
2. Нотация BPMN // Business Studio Wiki. [Электронный ресурс]. URL: [https://www.businessstudio.ru/wiki/docs/current/doku.php/ru/csdesign/bpmodeling/bpmn\\_notation](https://www.businessstudio.ru/wiki/docs/current/doku.php/ru/csdesign/bpmodeling/bpmn_notation) (дата обращения: 12.03.2022)
3. USE CASES: Что это такое и зачем они нужны? // Школа Системного Анализа и Проектирования Systems Education. [Электронный ресурс]. URL: <https://systems.education/use-casenotation> (дата обращения: 12.03.2022)

УДК 53.043

## УЧЕТ ДОЛГОВРЕМЕННОГО ВЛИЯНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО РАЗОГРЕВА НЕФТЯНОГО ПЛАСТА НА ДЕБИТ СКВАЖИНЫ

*И.Э. Джариев, dzhariev2\_ie@edu.surgu.ru; Е.А. Петров, С.М. Сысоев*  
*Сургутский государственный университет, Сургут, Россия,*  
*Научный руководитель: С.М. Сысоев, к. ф.-м. н., доцент*  
*каф. экспериментальной физики, СурГУ*

**Аннотация.** В рассматриваемой задаче предлагается новый метод увеличения дебита скважины для пласта с высоковязкой нефтью путем разогрева электромагнитным излучением. Принято считать, что технология эффективна, если EROI (энергетическая рентабельность)  $\geq 10$ . Полученные результаты для EROI 13,2 и 23,2 удовлетворяют указанному критерию. Однако расчет по второму варианту показывает, что учет долгосрочного влияния электромагнитного разогрева нефтяного пласта на дебит скважины позволяет более корректно учесть эффективность технологии, и полученное значение коэффициента оценки энергетического баланса во втором варианте более чем 1,7 раза выше, чем в первом варианте. Таким образом, проведенные расчеты позволяют сделать вывод о том, что эффективность технологии электромагнитного воздействия на призабойную зону пласта является приемлемой с практической точки зрения.

**Ключевые слова:** дебит скважины, высоковязкая нефть, микроволновое электромагнитное излучение, учет долгосрочного воздействия

## ACCOUNTING FOR THE LONG-TERM INFLUENCE OF THE ELECTROMAGNETIC HEATING OF THE OIL RESERVOIR ON THE WELL YIELD

*I.E. Dzhariev, E.A. Petrov, S.M. Sysoev*  
*Surgut State University, Surgut, Russia*  
*Supervisor: S.M. Sysoev, Candidate of Physical and Mathematical Sciences,*  
*Associate Professor, Department of Experimental Physics, SurGU*

**Abstract.** In the problem under consideration, a new method is proposed to increase the flow rate of a well for reservoirs with high-viscosity oil by heating with electromagnetic radiation. It is generally assumed that the technology is effective if the EROI (energy profitability) is  $\geq 10$ . The results obtained for EROI 13.2 and 23.2 satisfy the specified criterion. However, the calculation of the second option shows that taking into account the long-term effect of electromagnetic heating of the oil reservoir on the well flow rate allows us to more correctly take into account the efficiency of the technology, and the resulting value of the energy balance assessment coefficient in the second option is more than 1.7 times higher than in the first option. Thus, the calculations carried out allow us to conclude that the effectiveness of the technology of electromagnetic influence on the bottom-hole zone of the formation is acceptable from a practical point of view.

**Keywords:** well flow rate, high-viscosity oil, microwave electromagnetic radiation, accounting for long-term impact

*Введение.* Запасы высоковязких видов нефти и битумов значительны, и их добыча является важной практической задачей. Наличие высокой вязкости приводит к закупорке призабойной зоны скважины, поэтому часто применяемые методы теплового воздействия – нагретым паром или горячей жидкостью – в данном случае малоэффективны. К тому же, их масштабное применение может повлечь тяжелые экологические последствия в виде нарушений гидрогеологической обстановки.

Электромагнитный разогрев пластов является одним из перспективных методов теплового воздействия [1,2]. Глубокое проникновение и объемное тепловыделение электромагнитного излучения способно обеспечить гораздо более высокую скорость нагрева. Основная задача – определить оптимальные режимы воздействия на пласт на моделях, максимально приближенных к реальным условиям.

В настоящей работе предложена математическая модель, состоящая из уравнения для электромагнитного поля с учетом объемного тепловыделения в среде, уравнения теплопроводности с учетом фазовых переходов и уравнения пьезопроводности, включающем скорость фильтрации нефти в пласте по закону Дарси, усложненные по сравнению с применявшимися ранее [3,4].

Считается, что действие электромагнитного излучения проявляется только в создании объемных источников тепла, мощность и распределение которых определяются электрофизическими параметрами среды, мощностью источника излучения, частотой электромагнитных волн и диаграммой направленности антенны.

#### Материалы и методы

Наличие осевой симметрии в задаче приводит к решению в двумерной постановке в цилиндрической системе координат. Электромагнитное поле в пласте, создаваемое антенной, имеет электрическую составляющую, представленную радиальной компонентой  $E_r$ , и магнитную – азимутальной  $H_\varphi$ .

Скалярное уравнение относительно  $H_\varphi$ :

$$\left( \nabla \times \left( \left( \varepsilon_r - \frac{j\sigma}{\omega\varepsilon_0} \right)^{-1} \nabla \times \vec{H} \right) \right)_\varphi - \mu_r k_0^2 H_\varphi = 0$$

Для границы пласт-окружающие породы условия следующие:

$$\vec{n} \times (\vec{E}_1 - \vec{E}_2) = 0,$$

где индексы 1 и 2 принадлежат пласту и окружающим породам соответственно.

$$E_r = 0, \quad \frac{\partial E_z}{\partial r} = 0.$$

Граничные условия при  $r = 0$ :

Плотность объемных источников тепла:

$$q(r, z, T, t) = \frac{1}{2} \operatorname{Re} \left[ (\sigma - j\omega\varepsilon_r) \vec{E} \cdot \vec{E} \right],$$

$$\text{где } \sigma = \varepsilon_0 \omega \varepsilon'' = \varepsilon_0 \omega \varepsilon_r \operatorname{tg} \delta, \quad \varepsilon = \varepsilon_r - j\varepsilon''.$$

Процесс прогрева и фильтрации описываются уравнениями тепло- и пьезопроводности:

$$c\rho \frac{\partial T}{\partial t} + \nabla \cdot (-\lambda \nabla T) + mc_1 \rho_1 \vec{v} \cdot \nabla T = q(r, z, T, t),$$

$$\frac{\partial p}{\partial t} = \frac{1}{m\beta_p} \nabla \cdot \left( \frac{k}{\eta} \nabla p \right) + \frac{\beta_T}{\beta_p} \frac{\partial T}{\partial t},$$

где  $\rho, c, \lambda$  - плотность, теплоемкость и теплопроводность среды, усредненные по всем фазам;  $m$  - пористость среды;  $\rho_1, c_1, \eta, \beta_p, \beta_T$  - плотность, теплоемкость, вязкость, коэффициенты сжимаемости и теплового расширения нефти;  $k$  - коэффициент проницаемости

пласта;  $\bar{v} = \frac{k}{\eta} \nabla p$  - скорость фильтрации нефти (закон Дарси).

Начальным условием для уравнения теплопроводности  $T|_{t=0} = T_0$ .

Граничные условия задачи записываются, не учитывая теплообмен на поверхности скважины:

$$\left. \frac{\partial T}{\partial r} \right|_{r=b} = 0, \quad \left. \frac{\partial T}{\partial r} \right|_{r \rightarrow \infty} \rightarrow 0, \quad \left. \frac{\partial T}{\partial z} \right|_{z \rightarrow \pm \infty} \rightarrow 0.$$

Начальные и граничные условия для уравнения пьезопроводности записываются в виде:

$$p|_{t=0} = p_0, p|_{r=b} = p_b, p|_{r \rightarrow \infty} \rightarrow p_0, \left. \frac{\partial p}{\partial z} \right|_{z=\pm h/2} = 0,$$

где  $h$  - толщина пласта,  $p_b$  - давление в скважине,  $b$  - радиус скважины.

При исследовании модели были получены поля температур, давления, вязкости и скорости фильтрации нефти в пласте. Нагревание нефти приводит к уменьшению ее вязкости, что, в свою очередь, улучшает отбор нефти из коллектора. Значение скорости фильтрации нефти на границе пласт-скважина определяет величину дебита скважины.

Возрастание скорости фильтрации нефти в пласте при ее нагреве вызывает увеличение дебита скважины. Для «холодной» скважины скорость фильтрации нефти на границе пласт-скважина одинакова и не изменяется с течением времени при установившемся режиме добычи нефти. В этом случае дебит скважины  $G_0$  найдем, умножив скорость фильтрации на границе пласт-скважина  $v(r=b)$  на площадь цилиндрической поверхности ствола скважины

$$G_0 = 2\pi b h \cdot v(r=b)$$

В случае неравномерного нагрева пласта для нахождения дебита скважины  $G_H$  необходимо проинтегрировать скорость фильтрации  $v(r=b, z)$  по вертикальной координате на границе пласт-скважина:

$$G_H = 2\pi b \int_{-h/2}^{h/2} v(r=b, z) dz$$

Результаты и их обсуждение

Наиболее важным с практической точки зрения результатом прогрева является увеличенный дебит скважины по сравнению с дебитом «холодной» скважины. На рис.1 и 2 приведены зависимости, найденных таким образом, дебитов скважины от времени нагрева пласта электромагнитным излучением и отбора нефти для двух вариантов нагрева: в первом случае электромагнитный нагрев пласта и отбор нефти происходит в течение всего времени исследования (120 сут.), а во втором - электромагнитный нагрев пласта и отбор нефти осуществляется в течение 30 суток, далее отбор нефти производится при выключенном источнике электромагнитного нагрева в течение 90 суток.

В отсутствии нагрева («холодная» скважина) дебит скважины остается неизменным и составляет  $G_0=2,28$  м<sup>3</sup>/сут. Из рис.1 видно, что величина дебита скважины при нагреве  $G_H$  в течение 120 суток возрастает примерно в 3 раза и равна 6,65 м<sup>3</sup>/сут. Это означает, что прирост дебита  $\Delta G = G_H - G_0$  за счет нагрева пласта электромагнитным излучением за 120 суток составил почти 4,5 м<sup>3</sup>/сут., что больше дебита «холодной» скважины более чем в 2 раза. Из рис.2 следует, что после роста дебита скважины в течение времени нагрева, наблюдается его уменьшение и через 90 суток отбора нефти после выключения источника электромагнитного

нагрева к концу времени исследования величина дебита на 20% выше дебита «холодной» скважины. Это свидетельствует о долгосрочном влиянии произведенного нагрева пласта на дебит скважины после выключения источника электромагнитного нагрева.

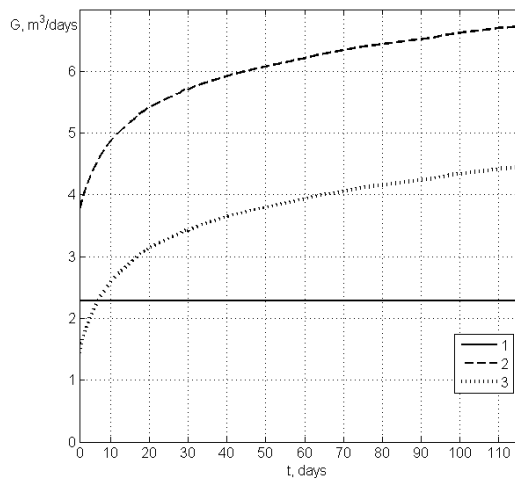


Рис. 1 Зависимость дебита скважины от времени нагрева пласта

1 – дебит «холодной» скважины  $G_0$ ;  
 2 – дебит скважины  $G_H$  при ее нагреве источником электромагнитного излучения в течение 120 суток (параметры источника электромагнитного излучения:  $W=10$  кВт,  $f=1$  ГГц);  
 3 – прирост дебита  $\Delta G$  за счет нагрева.

Для «холодной» скважины дебит остается неизменным во времени, и расчет количества добытой нефти производится умножением дебита на время добычи нефти

$$V_0 = G_0 \cdot t$$

В случае нагрева пласта электромагнитным излучением расчет количества добытой нефти  $V_H$  производится интегрированием дебита скважины  $G = G_H(t)$  по времени в пределах от начала  $t=0$  до окончания отбора нефти  $t=t_h$ :

$$V_H = \int_0^{t_h} G_H(t) dt$$

На рис.3 и 4 приведены зависимости найденного таким образом количества добытой нефти от времени нагрева пласта электромагнитным излучением и отбора нефти для двух указанных выше вариантов нагрева.

Из рис.3 видно, что объем добытой нефти из «холодной» скважины за 120 суток составляет  $264 \text{ м}^3$ , а объем добытой нефти при нагреве пласта источником электромагнитного излучения –  $710 \text{ м}^3$ , что в 2,7 раза больше. Таким образом, объем дополнительно добытой нефти из-за нагрева пласта за это время  $\Delta V = V_H - V_0$  равен  $446 \text{ м}^3$ . Из рис.4 следует, что во втором варианте исследований объем  $V_H$  добытой нефти при нагреве пласта источником электромагнитного излучения в течение 30 суток и последующим отбором нефти из пласта в скважину в течение 90 суток равен  $456 \text{ м}^3$ , что в 1,7 раза больше, чем из «холодной» скважины. Таким образом, объем дополнительно добытой нефти из-за нагрева пласта за это время  $\Delta V = V_H - V_0$  равен  $192 \text{ м}^3$ .

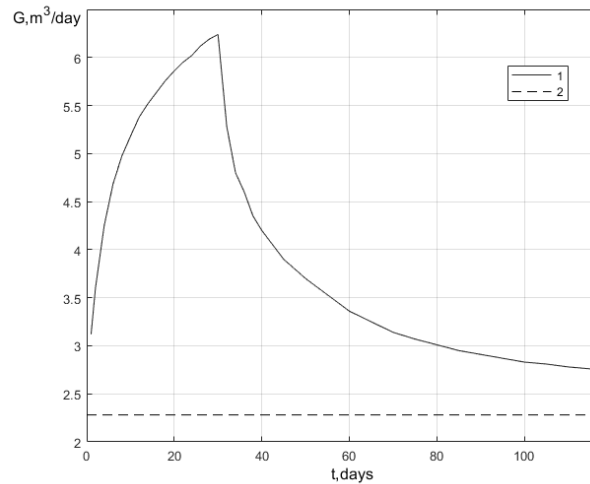


Рис. 2 Зависимость дебита скважины от времени нагрева пласта

1 – дебит скважины  $G_H$  при ее нагреве источником электромагнитного излучения в течение 30 суток и последующим отбором нефти из пласта в скважину в течение 90 суток (параметры источника электромагнитного излучения:  $W=10$  кВт,  $f=1$  ГГц);  
 2 – дебит «холодной» скважины  $G_0$ .

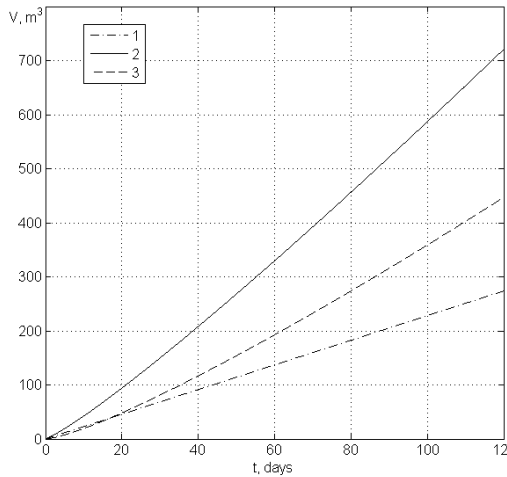


Рис.3 Зависимость объема добытой нефти от времени:

- 1 – объем  $V_0$  добытой нефти из «холодной» скважины;
- 2 – объем  $V_H$  добытой нефти при нагреве пласта источником электромагнитного излучения в течение 120 суток (параметры источника электромагнитного излучения:  $W=10$  кВт,  $f=1$  ГГц);
- 3 – объем дополнительно добытой нефти  $\Delta V$  из-за нагрева пласта.

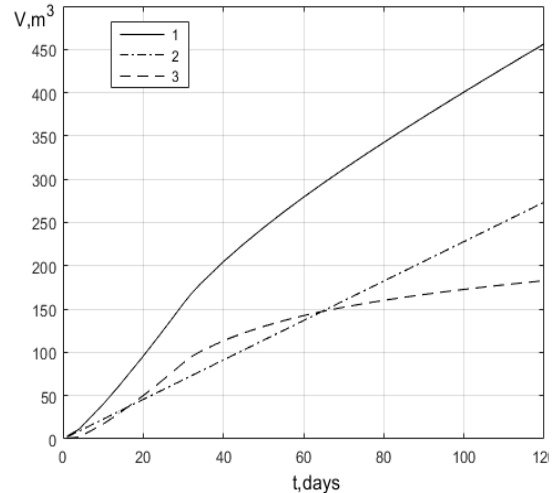


Рис.4 Зависимость объема добытой нефти от времени:

- 1 – объем  $V_H$  добытой нефти при нагреве пласта источником электромагнитного излучения в течение 30 суток и последующим отбором нефти из пласта в скважину в течение 90 суток (параметры источника электромагнитного излучения:  $W=10$  кВт,  $f=1$  ГГц);
- 2 – объем  $V_0$  добытой нефти из «холодной» скважины;
- 3 – объем дополнительно добытой нефти  $\Delta V$  из-за нагрева пласта.

Оценка эффективности технологии электромагнитного воздействия на призабойную зону пласта производилась с точки зрения энергетического баланса. В методике оценки энергетического баланса используется коэффициент  $K_{eff}$ , равный отношению получаемой энергии в результате дополнительно добытой нефти  $E_{oil}$  и потребленной энергии из-за работы источника электромагнитного излучения  $E_s$ :

$$K_{eff} = \frac{E_{oil}}{E_s}$$

Условная, дополнительно получаемая энергия  $E_d$  определялась как

$$E_{oil} = M_{oil} \cdot q_{oil} = V_{oil} \cdot S_{oil} \cdot \rho_{oil} \cdot q_{oil}$$

$$M_{oil} = V_{oil} \cdot S_{oil} \cdot \rho_{oil}$$

где  $S_{oil}=0,6$  – нефтенасыщенность пласта;  $q_{oil}=4,6 \cdot 10^7$  Дж/кг- теплотворная способность нефти;  $\rho_{oil}=940$  кг/м<sup>3</sup> – плотность нефти;  $V_{oil}$  – объем дополнительно добытой нефти;  $M_{oil}$  – масса дополнительно добытой нефти.

По первому варианту расчет выполнен для разогрева нефтяного пласта в течение 120 суток, тогда для условной дополнительно получаемой энергии  $E_{oil}$  с учетом дополнительно добытой нефти из-за нагрева пласта за это время ( $\Delta V = V_H - V_0 = 446$  м<sup>3</sup>) получаем

$$E_{oil} = 11,62 \cdot 10^{12} \text{ Дж} = 11,62 \text{ ТДж}$$

Потребленная энергия из-за работы источника электромагнитного излучения  $E_s$  определялась умножением общей потребляемой мощности  $W$  на время нагрева пласта  $t_h$ :

$$E_s = W \cdot t_h = \frac{W_s}{\eta_e \cdot \eta_l \cdot \eta_s} \cdot t_h,$$

где  $\eta_e=0,35$  – КПД тепловой электростанции;  $\eta_l=0,56$  – КПД линии электропередачи;  $\eta_s=0,6$  – КПД источника электромагнитного излучения;  $t_h=2880$  час (120 сут.) – время работы источника электромагнитного излучения;  $W_s = 10$  кВт – мощность источника электромагнитного излучения.

Выполненный расчет потребленной энергии из-за работы источника электромагнитного излучения  $E_s$  в течение 120 суток дал результат

$$E_s = 0,88 \cdot 10^{12} \text{ Дж} = 0,88 \text{ ТДж}$$

Оценка энергетического баланса по коэффициенту  $K_{\text{eff}}$  для первого варианта равна

$$K_{\text{eff}} = \frac{E_{\text{oil}}}{E_s} = \frac{11,62 \text{ ТДж}}{0,88 \text{ ТДж}} = 13,2$$

По второму варианту расчет выполнен для разогрева нефтяного пласта в течение 30 суток и последующим отбором нефти из пласта в скважину в течение 90 суток. Тогда для условной дополнительно получаемой энергии  $E_{\text{oil}}$  с учетом дополнительно добытой нефти из-за нагрева пласта ( $\Delta V = V_H - V_0 = 192 \text{ м}^3$ ) получаем

$$E_{\text{oil}} = 5,1 \cdot 10^{12} \text{ Дж} = 5,1 \text{ ТДж}$$

Выполненный расчет потребленной энергии из-за работы источника электромагнитного излучения  $E_s$  в течение 30 суток дал результат

$$E_s = 0,22 \cdot 10^{12} \text{ Дж} = 0,22 \text{ ТДж}$$

Оценка энергетического баланса по коэффициенту  $K_{\text{eff}}$  для второго варианта равна

$$K_{\text{eff}} = \frac{E_{\text{oil}}}{E_s} = \frac{5,1 \text{ ТДж}}{0,22 \text{ ТДж}} = 23,2$$

**Заключение.** Принято считать, что технология эффективна, если  $K_{\text{eff}} \geq 10$ . Полученные результаты для  $K_{\text{eff}}$  13,2 и 23,2 удовлетворяют указанному критерию. Однако расчет по второму варианту показывает, что учет долговременного влияния электромагнитного разогрева нефтяного пласта на дебит скважины позволяет более корректно учесть эффективность технологии, и полученное значение коэффициента оценки энергетического баланса во втором варианте более чем 1,7 раза выше, чем в первом варианте. Таким образом, проведенные расчеты позволяют сделать вывод о том, что эффективность технологии электромагнитного воздействия на призабойную зону пласта является приемлемой с практической точки зрения.

### Литература:

1. Сысоев С.М., Кислицын А.А. Моделирование теплопереноса в нефтесодержащем пласте под действием сверхвысокочастотного электромагнитного излучения // Вестник Тюменского государственного университета. Физико-математическое моделирование. Нефть, газ, энергетика. 2009. №6. С.119–126.
2. Сысоев С.М. Численное моделирование фильтрации высоковязкой нефти в пласте под воздействием сверхвысокочастотного электромагнитного излучения // Тезисы Международной конференции «Математика и информационные технологии в нефтегазовом комплексе», Сургут, 2014. – С. 77–79
3. Сысоев С.М., Алексеев М.М. Численное моделирование нагрева нефтесодержащего пласта сверхвысокочастотным электромагнитным излучением // Вестник кибернетики. 2019. Т.36. №4. С.6–16.



4. Sysoev S., Kislitsin A. Modeling of microwave heating and oil filtration in stratum// Numerical Simulations - Applications, Examples and Theory, Ed. Angermann L. ISBN: 978-953-307-153-4, intech. 2011. P.237-250.

УДК 519.24

## АЛГОРИТМ КОХОНЕНА В ЗАДАЧАХ ДИАГНОСТИКИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ

*А. М. Макарова, Нгуен Ван Туан*

*Сургутский государственный университет, Сургут;  
МИРЭА – Российский технологический университет, Москва,  
makarovaanastasia0107@gmail.com, tuanmya2pkkq@gmail.com*

*Научный руководитель: С.У. Увайсов, д-р техн. наук, профессор каф. АСОИУ,  
зав. кафедрой РТУ МИРЭА, Москва.*

**Аннотация.** Статья посвящена исследованию применения алгоритма Кохонена в качестве инструмента для диагностики исправности работы усилителя.

Цель статьи заключается в изучении алгоритма Кохонена и построении структурной схемы выявления дефектов в электрической схеме.

В качестве метода исследования были выбраны самоорганизующиеся карты Кохонена.

**Ключевые слова:** алгоритм Кохонена, кластеризация, самоорганизующиеся карты Кохонена

## KOHONEN'S ALGORITHM IN ELECTRICAL CIRCUIT DIAGNOSTIC PROBLEMS

*A.M. Makarova, Nguyen Van Tuan*

*Surgut State University, Surgut,  
MIREA – Russian Technological University, Moscow  
Supervisor: S.U. Uvaisov, Dr. Sci. sciences, professor ASOIU,  
head. Department of RTU MIREA, Moscow*

**Abstract.** The article is devoted to the study of the application of the Kohonen algorithm as a tool for diagnosing the serviceability of the amplifier. The purpose of the article is to study the Kohonen algorithm and build a block diagram for detecting defects in an electrical circuit. Kohonen self-organizing maps were chosen as the research method.

**Keywords:** Kohonen's algorithm, clustering, SOM

*Введение.* В наши дни большую роль в жизни человека играют электронные устройства, поэтому производство надежных, исправных электронных схем для этих устройств является очень важной задачей. Конструкции устройств и технологии их производства развиваются и усложняются, а вместе с этим растет потребность в более эффективных средствах контроля их производства. Автоматизированный процесс диагностики представляет собой процесс соотнесения значений, снятых на узлах и выходах электронных схем с некоторыми эталонными значениями. Данный процесс позволяет обнаружить наличие неисправностей, но не всегда позволяет локализовать их.

Для повышения эффективности диагностики можно классифицировать виды дефектов. Для реализации этого хорошо подходят нейронные сети без учителя. Обучение без учителя изучает обширный класс задач, в которых известна только обучающая выборка и требуется

обнаружить внутренние закономерности, которые существуют между объектами. В качестве конкретного метода реализации была выбрана одна из разновидностей нейронных сетей Кохонена – самоорганизующиеся карты Кохонена (SOM) [1].

Целью данной работы является исследование применения самоорганизующихся карт Кохонена в задачах диагностики дефектов усилителя.

*Задачи:*

1. Создать структурную схему процесса классификации дефектов усилителя с применением алгоритма Кохонена;
2. Описать алгоритм Кохонена на основе которого будет разработана нейронная сеть.

*Материалы и методы.* Объект исследования – электрическая схема усилителя, в которой могут присутствовать дефекты. Схемотехническая модель усилителя была собрана в среде NI Multisim и представлена на рис. 1. Измерение напряжения будет происходить на шести контрольных точках, т.е. размер входного вектора для нейронной сети равен шести, размер выходного вектора соответствует размеру входного. Количество классифицируемых дефектов равно четырем, такое количество выбрано для повышения точности распознавания.

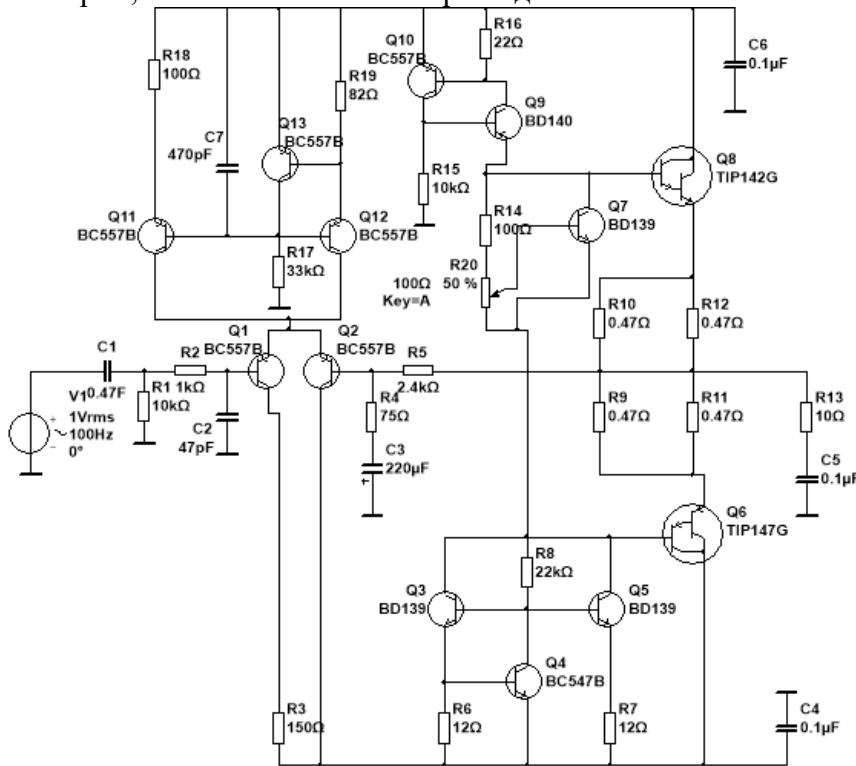


Рис. 1. Электрическая схема усилителя

Метод диагностики и классификации дефектов схемы усилителя представлен в виде структурной схемы на рис. 2.



Рис. 2. Структурная схема процесса диагностики схемы усилителя

Исходные данные формируются из электрической принципиальной схемы (блок 1). В среде NI Multisim (блок 4) создается схемотехническая модель усилителя (блок 2), также данное программное обеспечение используется для моделирования работы схемы в исправном состоянии и различных дефектов (блок 3).

На основе результатов моделирования формируется база данных (БД) неисправностей (блок 5). В итоге получается БД, которая содержит в себе все возможные варианты работы схемы усилителя (блок 6).

Полученная БД является входной информацией, на основе которой обучается SOM Кохонена (блок 7). SOM Кохонена является инструментом, благодаря которому происходит классификация дефектов схемы и прогнозирование состояния заданной схемы (блок 9). Для диагностики схемы необходимо указать значения на компонентах усилителя (блок 9). На последнем, заключительном, этапе выводится результат о текущем состоянии схемы усилителя (блок 10).

Самоорганизующиеся карты Кохонена выбраны как основа для разработки так как они хорошо подходят для решения задач прогнозирования, моделирования и поиска закономерностей в массивах данных. А наиболее часто используются для решения задач классификации без учителя, т.е. кластеризации. Сеть Кохонена обучается методом последовательных приближений. Перед началом обучения карты необходимо проинициализировать весовые коэффициенты нейронов. Способ инициализации – инициализация примерами, т.е. в качестве начальных значений задаются значения случайно выбранных примеров из обучающей выборки [2].

На каждом шаге обучения определяется нейрон, у которого скалярное произведение весов и поданного на вход вектора минимально. Этот нейрон называется нейроном-победителем и является центром при подстройке весов у соседних нейронов. Данный вид обучения носит «соревновательный» характер обучение с учетом расстояния нейронов от нейрона-победителя.

Обучения SOM заключается в следующем.

В начале обучения сети на вход подаются идентификационные признаки объектов, подлежащих кластеризации. Каждый нейрон сети соединен со всеми компонентами  $m$ -мерного входного вектора  $X = (x_1, x_2, \dots, x_m)$ .

Каждый входной вектор описывается вектором весов:

$$W_j = (w_{1j}, w_{2j}, \dots, w_{mj}),$$

где  $j$  – номер нейрона,  $m$  – число компонентов входных векторов.

При подаче на вход сети вектора  $X$  побеждает тот нейрон, вектор весов которого в наименьшей степени отличается от входного вектора. Для нейрона-победителя выполняется соотношение

$$d(x, w_j) = \min_{1 \leq i \leq n} d(x, w_i),$$

где  $n$  – количество нейронов,  $j$  – номер нейрона-победителя,  $d(x, w_j)$  – расстояние между векторами  $x$  и  $w$ .

В качестве меры расстояния чаще всего используется евклидово расстояние

$$d(x, w_i) = \|x - w_i\| = \sqrt{\sum_{j=1}^m (x_j - w_{ji})^2}$$

Конкурирующая функция активации формирует выходы нейронов, равные 0 для всех нейронов, кроме одного "нейрона-победителя", имеющего на выходе максимальное значение. Таким образом, вектор выхода имеет единственный элемент, равный 1, который соответствует нейрону-победителю, а остальные равны 0. Номер активного нейрона определяет ту группу (кластер), к которой наиболее близок входной вектор.

Перед процессом обучения производится инициализация сети, то есть первоначальное задание векторов весов. В простейшем случае задаются случайные значения весов. Процесс обучения сети Кохонена состоит из циклического повторения ряда шагов:

1. Подача исходных данных на входы. Обычно случайно выбирается один из входных векторов.
2. Нахождение выхода каждого нейрона.
3. Определение нейрона-победителя, т.е. нейрона, веса которого меньше всего отличаются от компонентов входного вектора.
4. Корректировка весов "выигравшего" нейрона по правилу Кохонена:

$$w_i^{(k+1)} = w_i^{(k)} + \eta_i^{(k)} [x - w_i^{(k)}]$$

где  $x$  – входной вектор,  $k$  – номер цикла обучения,  $\eta_i^{(k)}$  – коэффициент скорости обучения  $i$ -го нейрона в  $k$ -ом цикле обучения.

5. Переход на шаг 1, если обучение не завершено [3].

В результате данного исследования была составлена структурная схема процесса диагностики дефектов схемы усилителя, был изучен и описан алгоритм самообучающихся карт Кохонена и его применение для данной задачи. Исходя из вышеперечисленного можно сделать вывод, что данный алгоритм подходит для решаемой задачи.

### Литература:

1. Профессиональный информационно-аналитический ресурс, посвященный машинному обучению, распознаванию образов и интеллектуальному анализу данных // Нейронная сеть Кохонена. [Электронный ресурс]. URL: [http://www.machinelearning.ru/wiki/index.php?title=Нейронная\\_сеть\\_Кохонена](http://www.machinelearning.ru/wiki/index.php?title=Нейронная_сеть_Кохонена) (дата обращения: 17.03.2022)
2. Самоорганизующиеся карты – математический аппарат. [Электронный ресурс]. URL: <https://loginom.ru/blog/som> (дата обращения: 19.03.2022)
3. Горбачев В.И. Сети и карты Кохонена. URL: [http://gorbachenko.self-organization.ru/articles/Self-organizing\\_map.pdf](http://gorbachenko.self-organization.ru/articles/Self-organizing_map.pdf) (дата обращения: 17.03.2022)

УДК 004.422

## WEB-ПРИЛОЖЕНИЕ ДЛЯ ПОДБОРА ВАКАНСИЙ И РЕЗЮМЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОЛОГИЙ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ

**М.А. Панин**

*студент, Сургутский государственный университет, Сургут, Россия,  
panin@edu.surgu.ru*

*Научный руководитель: Д.А. Кузин,  
канд. техн. наук, доцент кафедры автоматизации и компьютерных систем*

**Аннотация.** В данной статье исследуются особенности подбора вакансий и резюме с использованием технологий машинного обучения. Целью работы является создание современного web-приложения способного подбирать подходящие место работы или идеального кандидата на вакантное место по введенным данным. Данный подход позволит значительно ускорить поиск новой работы или новых сотрудников в IT-сфере. Были выделены следующие задачи:

1. Определить, какую именно информацию нужно извлечь из вакансии или резюме.
2. Написать парсер, способный с определенных сайтов интернет-рекрутмента загружать в базу данных полученные вакансии и резюме.
3. Анализ и обработка полученных вакансий и резюме для последующего обучения модели машинного обучения.
4. Подбор подходящего метода машинного обучения.
5. Создание web-приложения при помощи технологий frontend и backend разработки, где используется обученная модель, способная искать подходящие вакансии или резюме.

В результате исследования была обучена модель машинного обучения, которая способна анализировать текстовые данные, а также создано single page application (SPA)[4] приложение, для удобного взаимодействия пользователя с моделью.

**Ключевые слова:** машинное обучение, текстовые данные, обучение модели, кластеризация, обработка естественного языка

*Благодарность:* хочу выразить особую благодарность научному руководителю, Кузину Дмитрию Александровичу доценту кафедры АиКС, за помощь в разработке алгоритма машинного обучения и в написании web-приложения, а также в оформлении статьи. Отдельно хочу поблагодарить Тараканова Дмитрия Викторовича, доцента кафедры АиКС, за советы при написании данной статьи.

## WEB-APPLICATION FOR THE SELECTION OF VACANCIES AND RESUMES USING MACHINE LEARNING TECHNOLOGIES

**М.А. Panin**, student, Surgut State University, Surgut, Russia,  
panin@edu.surgu.ru

*Scientific director: Д.А. Kuzin, PhD in computer science, associate professor  
in automation and computer systems department, Surgut State University*

**Abstract.** This article explores the features of the selection of vacancies and resumes using machine learning technologies. The aim is to create a modern web application capable of selecting the most suitable jobs or the most ideal candidate for a vacancy based on the data entered. This approach will significantly speed up the search for a new job or new employees in the IT field. The following objectives were identified:

1. Determine the information you need to extract from the vacancy or resume.
2. Write a parser capable of uploading received vacancies and resumes to the database from certain Internet recruitment sites.
3. Analysis and processing of received vacancies and resumes for subsequent training of the machine learning model.
4. Selection of a suitable machine learning method.
5. Creation of a Web application using frontend and backend development technologies where a trained model is used that can search for suitable vacancies or resumes.

As a result of the study, a machine learning model was trained that was capable of analyzing text data and a single page application (SPA) [4] application was created for convenient user interaction with the model.

**Keywords:** Machine learning; natural language preprocessin; spa; clusterization; python; react; web; ML model

*Введение.* На сегодняшний день в России и странах СНГ наблюдается острая нехватка IT-специалистов. Так, например, по разным подсчетам на 2021 год в IT-индустрии не хватает от 500 тыс. до миллиона специалистов. Такой большой дефицит означает большое количество доступных предложений. Каждый работодатель выдвигает собственные условия работы, заработную плату, условия к кандидату и т. д., точно так же, как и у кандидата есть свои собственные видения условия работы, опыт работы, которые могут не подойти для конкретного предложения. Однако просмотр нужных вакансий и учет всех требований и пожеланий может занять достаточно большое количество времени. В данной ситуации даже фильтры на сайтах интернет-рекрутмента не всегда могут помочь.

Основная проблема фильтров в том, что они имеют ограниченный спектр возможностей. Так, например, на всем известном сайте hh.ru теги фильтров позволяют отсортировать вакансии по уровню дохода, региону, специализации, сфере компании и опыту работы. Данные теги могут значительно сократить список доступных предложений, однако поиск подходящей вакансии также будет занимать время, которое соискатель мог бы потратить на оттачивание своих навыков и закрытие пробелов в знаниях.

Чтобы решить данную проблему, необходимо разработать алгоритм, который мог бы достаточно быстро проанализировать входящий текст. На основе данного анализа можно подобрать вакансии или резюме, которые с максимальной вероятностью будут соответствовать запросам пользователя. Для обработки и анализа текстовых данных подойдут методы Natural Language Preprocessing (NLP) [2], а для нахождения подходящих вакансий или резюме можно воспользоваться методами машинного обучения. Чтобы пользователю было удобно взаимодействовать с обученной моделью, необходимо разработать приложение, в данном случае, web-сайт.

*Материалы и методы.* Вакансии и резюме - это абсолютные разные документы. Но если взглянуть на них под другим углом, можно заметить, что у них имеется достаточно много похожих черт. А именно, в резюме и в вакансии можно заметить следующие сходства: оплата работы, навыки, режим труда, требования к должности, что эквивалентно описанию опыта работы и т.д. Данные сходства помогут анализировать документ без какого-либо разделения.

На первоначальном этапе принимается решение, какие именно данные необходимо извлечь для анализа. Каждая вакансия или резюме индивидуальны - имеют особенность написания текста, структуру и информативные блоки. Именно поэтому было принято решение

анализировать весь текст, который удастся получить из вакансии или резюме, не выделяя какие-либо отдельные блоки. Удаляя часть информации, можно потерять очень важные данные, которые могут оказать существенное влияние на работу алгоритма.

Следующим этапом было написание парсера, способного собрать в одном месте нужные вакансии и резюме. Огромное количество вакансий и резюме находятся на одном из самых популярных сайтов по поиску работы – hh.ru. У компании HeadHunter имеется собственный API, при помощи которого можно в удобной текстовой форме получить как вакансии, так и резюме, однако есть существенный минус - он платный. Именно поэтому был написан парсер на языке программирования Python, который ищет определенные вакансии по их названию. Каждая вакансия записывается в отдельный JSON файл и в базу данных PostgreSQL. Для тестирования были выгружены все имеющиеся вакансии по профессии frontend-разработчик. Всего было найдено 1433 вакансии. Все эти вакансии в дальнейшем станут обучающей выборкой [2].

Третьим этапом были выполнены анализ и обработка полученных вакансий. Весь полученный текст необходимо привести к нормальной словарной форме для более корректного анализа текста. В решении данной проблемы может помочь либо стемминг, либо лемматизация. Стемминг - это грубый эвристический процесс, который отрезает «лишнее» от корня слов, что зачастую приводит к потере словообразовательных суффиксов. Лемматизация - это более тонкий процесс, который использует словарь и морфологический анализ, чтобы в итоге привести слово к его канонической форме – лемме [2]. Отличие в том, что стеммер (конкретная реализация алгоритма стемминга) действует без знания контекста и, соответственно, не понимает разницу между словами, которые имеют разный смысл в зависимости от части речи. Однако у стеммеров есть и свои преимущества: их проще внедрить, и они работают быстрее. Плюс, более низкая «аккуратность» может не иметь значения в некоторых случаях. В данном примере был применен алгоритм стемминга. Это было сделано для того, чтобы проверить, какие будут результаты при «грубой» обработке текста. После стеммизации из текста удаляются так называемые стоп-слова. Стоп-слова - это обычно союзы, междометия и т.д., то есть те слова, которые не несут смысловой нагрузки [1]. Если их не удалить, они могут добавить много шума в процессе машинного обучения. Далее необходимо векторизировать текст, чтобы его можно было использовать в качестве входных данных для модели машинного обучения. Простейший метод скоринга – отметить наличие слов, то есть ставить 1, если есть слово, и 0 - при его отсутствии.

Четвертый этап - это обучение модели [3]. Так как данные не маркированы, а вакансии, подходящие для конкретного человека, неизвестны, то обучение с учителем не подойдет. Для обучения модели подойдут методы обучения без учителя, а именно методы кластеризации. Кластеризация - задача группировки множества объектов на подмножества (кластеры) таким образом, чтобы объекты из одного кластера были более похожи друг на друга больше, чем на объекты из других кластеров по какому-либо критерию [3]. Многие вакансии имеют схожие черты. Например, стек технологий, сфера, область, в которой работает компания и т.д. Именно по этим схожим чертам можно кластеризовать вакансии. Самым важным моментом является определение количества кластеров. Для данного примера были созданы 5 отдельных кластеров. Готовые кластеры можно представить, как скопление точек, где каждая точка является вакансией. После того, как появится новое резюме, модель определит, к какому кластеру лучше её отнести. Те точки или вакансии, которые лежат ближе всего к резюме на плоскости, и будут являться наиболее подходящими вакансиями.

Последний, пятый этап - это создание удобного интерфейса для взаимодействия пользователя с моделью. Для более качественной разработки было принято решение разрабатывать серверную и клиентскую часть [4] отдельно, используя разные фреймворки и библиотеки.

*Результаты и их обсуждение.* В результате работы алгоритма машинного обучения были получены следующие результаты, которые представлены на рис. 1. На рисунке показаны



три больших кластера, в которых находится подавляющее большинство вакансий. Это вызвано тем, что в кластерах 1 и 4 находятся вакансии на иностранных языках. Выделить каким-либо образом отличительные черты в кластерах 0, 2 и 3 достаточно проблематично, так как все они очень похожи друг на друга. Обученная модель машинного обучения определяет кластер для вакансии, однако достаточно сложно выделить признаки, по которым она определяет, к какому кластеру отнести ту или иную вакансию. Это может быть связано с тем, что был выбран не самый подходящий способ приведения всех слов к единой форме. Возможно, при помощи лемматизации результаты могли быть точными.

Также стоит отметить, что было разработано SPA-приложение, которое имеет высокую скорость работы, а также минимальный необходимый функционал: регистрация и авторизация, поиск подходящих вакансий и резюме, просмотр найденных записей.

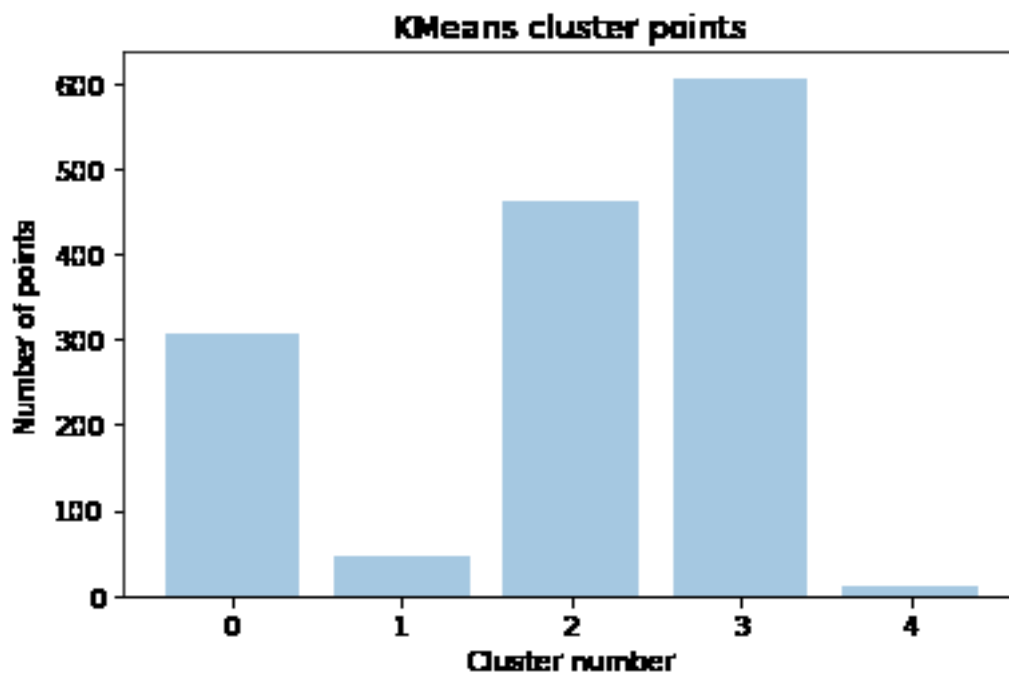


Рис. 1. Результат обучения модели машинного обучения

*Заключение.* В заключении хотелось бы сказать, что полученные результаты неоднозначны. Обученная модель машинного обучения может искать подходящие вакансии и резюме, однако результаты могут быть с большой погрешностью. При более детальном и глубоком анализе и обработке текста можно повысить точность модели. Более того, если увеличить обучающую выборку, то результаты могут измениться в лучшую сторону. Однако не всё так плохо, как могло показаться. Первично обученная модель показала, что поставленную задачу она частично выполняет. При дальнейшей модернизации модели можно уменьшить погрешность выполнения и увеличить возможности приложения.

В качестве развития приложения можно создать отдельную страницу, где будут находиться статистические данные по конкретной области в IT-сфере, благодаря которым пользователь может посмотреть различные тенденции. Если будут улучшены результаты работы модели, можно сказать, что в сфере HR и рекрутмента можно применять машинное обучение. Это значительно облегчит поиск кандидатов, подходящей работы, избавит от рутинного чтения и анализа вакансий и резюме.

**Литература:**

1. Основы Natural Language Processing для текста // habr.com URL: <https://habr.com/ru/company/Voximplant/blog/446738/>
2. Бенджамин Б. Прикладной анализ текстовых данных на Python. Машинное обучение и создание приложений обработки естественного языка [Текст]. – М.: Питер, 2021. – 363 с.
3. Джоэл Грас. Data Science. Наука о данных с нуля [Текст]. – М.: bhv, 2020. – 416 с.
4. Документация React // <https://ru.reactjs.org/> URL: <https://ru.reactjs.org/docs/getting-started.html>

УДК 004.415

## АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА КОНСТРУИРОВАНИЯ ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

*А.Д. Смородинов, аспирант,  
Сургутский государственный университет, Сургут, Россия; инженер отдела  
биофизики и нейрокибернетики Сургутский филиал ФНЦ НИИСИ РАН,  
sachenka\_1998@mail.ru  
Научный руководитель: В.А. Галкин, д. ф-м. н, профессор кафедры ПМ*

**Аннотация.** В статье описывается разработанная автоматизированная система конструирования искусственных нейронных сетей, рассматриваются существующие аналоги данной системы. Также приводится сравнительный анализ современных языков программирования и библиотек для создания нейронных сетей, проверяется разработанная система на ряде практических задач.

**Ключевые слова:** автоматизированная система, нейронная сеть, перцептрон, функции активации, функции оптимизации, функции потерь

## AUTOMATED SYSTEM FOR DESIGNING ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS

*A.D. Smorodinov,  
post-graduate student of the Surgut State University, Surgut, Russia;  
Engineer of the Department of Biophysics and Neurocybernetics, Surgut branch  
of the Federal Scientific Center of the Research Institute of General Research  
of the Russian Academy of Sciences,  
Supervisor: V.A. Galkin, Ph.D., Professor of the Department PM*

**Abstract.** The article describes the developed automated system for constructing artificial neural networks, and considers the existing analogues of this system. A comparative analysis of modern programming languages and libraries for creating neural networks is also given, the developed system is tested on a number of practical tasks.

**Keywords:** automated system, neural network, perceptron, activation functions, optimization functions, loss functions

*Введение.* Особое значение в науке и технике приобретают искусственные нейронные сети, позволяющие решать большой ряд задач, которые до этого времени считались трудноразрешимыми. Но, несмотря на те прорывы, которые стали возможны благодаря ИНС, существует проблема выбора конфигурации нейронной сети.

Современной науке известно больше 100 различных вариантов нейронных сетей, каждая из которых подходит к своей задаче.

Результатом функционирования АС является готовая сконфигурированная и обученная нейронная сеть, готовая к дальнейшему использованию пользователем в своих целях.

Исследование рынка программного обеспечения показывает, что существующие варианты не отвечают требованиям и возможностям пользователей для использования готовых решений в своих целях.

Существующие аналоги ПО:

1. NeuroPro – российское программное обеспечение, разработанное Виктором Царегородцевым, существуют две версии программы, первая версия создана около 20 лет назад и не работает на современном оборудовании, что сразу делает данное программное обеспечение непригодным для использования. Вторая версия не распространяется, автор используют её для личных целей.

2. Alyuda Forecast – зарубежное программное обеспечение, является, по сути, надстройкой над MS Excel. Имеет три режима работы, нацеленные на разных пользователей, начиная от экспертов, которую могут использовать программу в экспертном режиме, заканчивая базовым, с которым может разобраться любой желающий, также есть третий режим, стандартный для пользователей, имеющих представление о нейронных сетях, но не обладающих глубокими знаниями в области машинного обучения. Также данное программное обеспечение обладает мастер-подобным интерфейсом. Главным препятствием является цена, которая начинается от 300 долларов для частных пользователей и от 6000 для коммерческих фирм. К тому же компания принимает заказы на покупку от организаций только в США и Канаде.

3. NeuroSolutions - Это коммерческое программное обеспечение, разработанное фирмой NeuroDimension. Совмещает модульный, с оконным представлением интерфейс, для разработки нейронных сетей. Недостатком NeuroSolutions является стоимость, так, версия для Matlab стоит от 995 долларов США. Стоимость полноценной версии программного продукта предоставляется по запросу после указания цели и места применения данной системы.

Существует ещё ряд аналогов, но их функционал меньше, чем у рассмотренных выше систем, к тому же все они также являются коммерческими продуктами стоимостью от нескольких сотен до нескольких десятков тысяч долларов США. Некоторые продукты, также, как и NeuroSolution, предоставляются после указания цели и места использования системы, что ограничивает возможность их применения.

Python - язык программирования, на котором была реализована автоматизированная система конструирования нейронных сетей. Данный выбор сделан после анализа существующих языков программирования, сравнительная таблица представлена ниже.

Табл. 1.

Сравнение языков программирования для реализации автоматизированной системы

№ п/п	Язык программирования	Парадигмы	Кросс платформенность	Интегрируемый	Быстродействие	Сложность разработки	Документация на русском языке	Управление памятью на низком уровне	Фреймворки для создания нейронных сетей	Открытый исходный код
1	C++	Процедурная, объектно-ориентированная	Да	Нет	Высокая	Высокая	Подробная	Есть	ALGLIB, ROOT	Да
2	Java	Процедурная, объектно-ориентированная	Да	Да	Средняя	Высокая	Подробная	Отсутствует	Weka, Massive Online Analysis (MOA),	Да

									Deeplearning4j, MALLE T	
3	R	Функциональная, объектно-ориентированная	Да	Да	Средняя	Низкая	Нет подробной документации	Отсутствует	Esquisse, Dplyr, Ggplot2, MLR	Да
4	C#	Императивный, объектно-ориентированный	Да	Нет	Высокая	Высокая	Подробная русскоязычная документация	Отсутствует	ML.NET, TensorFlowSharp, Accord.NET, Microsoft Azure ML Studio	Нет
5	Python 3	Процедурная, объектно-ориентированная	Да	Да	Низкая	Низкая	Подробная русскоязычная документация	Отсутствует	CNTK, Teano, TensorFlow, Keras и др.	Да

Исходя из данной таблицы, оптимальным языком для разработки автоматизированной системы конструирования нейронных сетей является язык Python 3. У данного языка почти отсутствуют недостатки, а, если быть точнее, то благодаря трансплайеру Nuitka первый недостаток можно не учитывать, а второй, в той или иной степени, характерен для исходного кода на любом языке программирования, и потому данный недостаток нельзя относить к существенному.

После выбора языка программирования необходимо выбрать способ создания нейронных сетей. В любом случае, т.к. необходимо автоматически создавать большое количество нейронных сетей, надо использовать какую-либо библиотеку. Потому вопрос можно поставить следующим образом: создавать свою или использовать готовую библиотеку. Из готовых библиотек для создания нейронных сетей можно выделить следующие: TensorFlow, Keras, Teano, PyTorch – именно эти библиотеки приобрели наибольшую популярность (табл.2).

Обобщая вышесказанное, можно сделать вывод, что оптимальным выбором библиотеки для создания автоматизированной системы конструирования нейронных сетей является библиотека Keras с backend TensorFlow, т.к. в таком случае можно использовать все достоинства Keras, нивелируя большинство недостатков TensorFlow.

Пользователь сможет выбирать режим работы автоматизированной системы – «Автоматический» или «Экспертный». Данное разграничение нацелено на пользователей двух категорий. Первая категория – это пользователи, которые не имеют обширных знаний в области создания и использования нейронных сетей. Вторая категория – это пользователи, которые обладают достаточными знаниями в области нейросетевых технологий, имеют

представление о том, для каких задач чаще всего используется та или иная функция активации, как правильно выбирать функцию оптимизации и потерь и т.д.

Табл. 2.

## Сравнение библиотек для реализации нейронных сетей

№ п/п	Название библиотеки	Количество документации	Возможность мониторинга обучения	Обучение с использованием GPU	Сложность создания и изменения НС
1	Theano	Отсутствует подробная русскоязычная документация	Да	Да	Средняя
2	TensorFlow	Подробная русскоязычная документация	Да	Да	Высокая
3	PyTorch	Отсутствует подробная русскоязычная документация	Нет	Да	Средняя
4	CNTK	Отсутствует подробная русскоязычная документация	Да	Да	Средняя
5	Keras	Подробная русскоязычная документация	Да	Да	Низкая

При запуске программного обеспечения у пользователя будет запрошен путь к файлу, содержащего обучающую выборку для нейронных сетей. Файл с данными должен иметь следующую структуру (табл.3): первый столбец – нумерация исходных данных; второй, третий и так далее до N – это значения для входов нейронной сети, соответственно, для первого, второго и т.д. N-го нейрона. Количество таких столбцов может быть больше одного и ограничивается только возможностью ЭВМ пользователя. N+1, N+2 и т.д. N+M столбцы содержат значения для выходных нейронов. Количество таких столбцов также не должно быть ограничено программно. Первая строчка в файле всегда отведена под заглавие, в формате, указанном в табл. 4 (вместо N и M должны стоять числа).

Табл. 3.

## Формат входных данных для хранения обучающих выборок

N	I1	I2	...	IN	O1	O2	...	OM
1	Вход.	Вход.	...	Вход.	Выход.	Выход.	...	Выход.
2	Данные	Данные	...	Данные	Данные	Данные	...	Данные
...	На 1	На 2	...	На N	На 1	На 2	...	На M
K	Вход	Вход	...	Вход	Выход	Выход	...	Выход

В случае если пользователь выбирает автоматический режим работы системы, то система использует варианты нейронных сетей, записанные по умолчанию в автоматизированной системе. Описание нейронных сетей по умолчанию, которые будут проверяться путем обучения на возможность применения к задаче пользователя, приведены в табл. 4.

Табл. 4.

## Классы нейронных сетей, используемых в автоматическом режиме

Тип задачи	Функции активации			Функция оптимизации	Метрика	Функция потерь
	Первый слой	Скрытый слой	Выходной слой			
Регрессия между 0 и 1	sigmoid	sigmoid	sigmoid	SGD	accuracy	mse
Регрессия по произвольным значениям	sigmoid	sigmoid	linear	SGD	accuracy	mse
Бинарная однозначная классификация	relu	sigmoid	sigmoid	RMSprop	accuracy	Binary crossentropy
Многоклассовая однозначная классификация	relu	sigmoid	softmax	SGD	accuracy	Categorical crossentropy

Количество скрытых слоев будет рассчитываться как половина суммы входных и выходных слоев.

Для выбора количества нейронов скрытых слоев есть следующие рекомендации:

1. Если в нейросети только один выходной узел и предполагается, что требуемая связь «вход-выход» довольно проста, необходимо начать с размерности скрытого слоя, равной двум третям входной размерности.

2. Если есть несколько выходных узлов или предполагается, что требуемая связь «вход-выход» является сложной, размерность скрытого слоя делается равной сумме «входная размерность плюс выходная размерность» (но при этом она должна быть меньше удвоенной входной размерности).

3. Если предполагается, что требуемая связь «вход-выход» является крайне сложной, устанавливается размерность скрытого слоя, на единицу меньшая удвоенной входной размерности [1].

Таким образом, минимальное количество нейронов в сети равно  $2/3$  от входной размерности, а максимальное – удвоенной входной размерности минус один. В данное количество нейронов в скрытом слое рассчитывается как сумма входных и выходных размерностей.

Количество эпох, в течение которых будет происходить обучение, рассчитывается как количество скрытых слоев, умноженное на число нейронов в скрытых слоях.

Каждая нейронная сеть будет обучаться 5 раз, после чего пользователю будет представлена аналитика и информация об обученных нейронных сетях. Подробное описание аналитики представлено после описания экспертного режима работы.

## Тестирование программного обеспечения

В каждом эксперименте будем создавать нейронную сеть (рис. 1) с помощью экспертного режима работы АС, состоящую из 1 скрытого слоя, с сигмоидальной функцией активации  $(x) = \text{th}(x) = \frac{e^x - e^{-x}}{e^x + e^{-x}}$ , на входном и выходном слое без функций активаций. Для определения нейронов на каждом слое воспользуемся теоремой Колмогорова о существовании отображений нейронной сети, в которой говорится о количестве нейронов на каждом из слоёв сети [2].

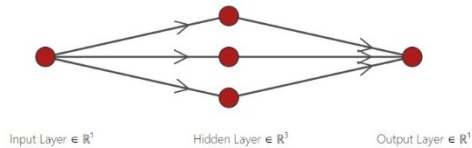


Рис.1. Схема нейронной сети, используемой для аппроксимации и интерполяции функций  $f(x) = |x|$ ,  $f(x) = \sin(x)$ ,  $f(x) = \frac{1}{1+25x^2}$

Функцией  $f(x) = \sin(x)$  обучим представленную выше нейронную сеть на промежутке от -5 до 5, с разбиением на 500 точек обучения. Количество нейронов 1,3,1 соответственно для входного, одного скрытого и выходного слоя. Количество эпох укажем 25. Для создания данной нейронной сети использовался Экспертный режим работы. Результаты аппроксимации и интерполяции, полученные путем применения обученной нейронной сети, представлены на рис.2.



Рис.2. Аппроксимация (А) и интерполяция (Б) функции  $f(x) = \sin(x)$  с разбиением на 500 точек, в интервале от -5 до 5 нейронной сетью с 1 нейроном на входном слое, 3 нейронами на скрытом слое и 1 нейроном на выходном слое обученной на 25 эпохах

Результаты аналитики, представляемой АС:

1. Точность на этапе обучения: 0.925%.
2. Время обучения: 16.92 с.
3. Время на прогноз: 0.01 с.
4. Функция активации входного слоя: linear.
5. Функция активации скрытого слоя: tanh.
6. Функция активации выходного слоя: linear.
7. Функция оптимизации: Стохастический градиентный спуск без импульса

Нестерова.

8. Функция активации: Mean squared error (MSE).
9. Метрика: ассигасу.
10. Количество скрытых слоёв: 1.
11. Количество нейронов в входном слое: 1.
12. Количество нейронов в скрытом слое: 3.
13. Количество нейронов в выходном слое: 1.
14. Количество эпох: 25.
15. Важность весов в % через запятую, для каждого из входов 1.0.

Результаты аппроксимации и интерполяции достаточно хороши, но если использовать ту же самую нейронную сеть и увеличить размер аппроксимируемой области, то нейронная сеть уже не справляется с задачей, результаты обучения сети на промежутке от -10 до 10 с 1000 точек разбиения представлены на рис.3. Причем количество эпох было увеличено до 50.





Рис.3. Аппроксимация (А) и интерполяция (Б) функции  $f(x) = \sin(x)$  с разбиением на 1000 точек, в интервале от -10 до 10 нейронной сетью с 1 нейроном на входном слое, 3 нейронами на скрытом слое и 1 нейроном на выходном слое обученной на 50 эпохах.

Для второго эксперимента возьмем функцию Бернштейна  $f(x) = \frac{1}{1+25x^2}$  и обучим ту же самую сеть (из эксперимента 1) аппроксимировать её, разбиение будет от -2.5 до 2.5, количество точек 500. Результаты аппроксимации и интерполяции обученной нейронной сетью представлены на рис.4.



Рис.4. Аппроксимация (А) и интерполяция (Б) функции  $f(x) = \frac{1}{1+25x^2}$  с разбиением на 500 точек, в интервале от -2.5 до 2.5 нейронной сетью с 1 нейроном на входном слое, 3 нейронами на скрытом слое и 1 нейроном на выходном слое обученной на 25 эпохах.

Созданная нейронная сеть способна аппроксимировать функцию такого типа.

В ходе данной работы была реализована автоматизированная система конструирования нейронных сетей, протестирована на целом ряде задач, таких как нейронная сеть для интерполяции и аппроксимации различных математических функций. В дальнейшем планируется развитие системы, которое заключается в переработке пользовательского интерфейса, добавлении различных настроек и функций, полноценных подсказок по ходу использования системы.

Кроме того в АС будет добавлена возможность выбора библиотеки реализации между tensorflow, SNTR, Theano, увеличено количество параметров конфигурации нейронной сети, например, возможность настройки регуляризации обучения, изменения скорости обучения по умолчанию.

### Литература:

1. Introduction to Neural Networks with Java, Second Edition, First printing. Jeff Heaton. 2008 By Heaton Research Inc., 1734 Clarkson Rd #107, Chesterfield, MO 63017-4976
2. Sprecher, David A., "On the Structure of Continuous Functions of Several Variables ", Trans. Amer. Math. Soc., 115,340-355, March 1965

УДК 004.415

## ВЫЯВЛЕНИЕ ЗАИМСТВОВАНИЙ В ИСХОДНЫХ ТЕКСТАХ ПРОГРАММ

*Е.Е. Созыкин, студент бакалавриата  
Сургутский государственный университет, Сургут, Россия, genya-sozykin@mail.ru  
Научный руководитель: И.Н. Девицын, старший преподаватель каф. АСОИУ*

**Аннотация.** В статье рассматриваются современные подходы к выявлению заимствований в исходных текстах программ, а также некоторые продукты на основе этих подходов. Показано, что данные продукты решают поставленную задачу лишь частично, поэтому принято решение разработать автоматизированную систему, интегрирующую открытые разработки и обладающую модульной архитектурой для последующего расширения и модификации. Разрабатываемую автоматизированную систему предлагается использовать в вузах для проверки работ студентов технических направлений.

**Ключевые слова:** исходный код, заимствование, абстрактное синтаксическое дерево, токенизация, автоматизированная система

## SOURCE CODE PLAGIARISM DETECTION

*Е.Е. Sozykin, undergraduate student,  
Scientific adviser: I.N. Devitsyn, senior lecturer of the department ASOIU,  
Surgut State University, Surgut, Russia*

**Abstract.** The article discusses modern approaches to Source code plagiarism detection as well as some products based on these approaches. It is shown that these products are solving the problem partially. It was decided to develop an automated system that integrates open source developments and has a modular architecture for ease of modification. The developing automated system is proposed to be used in universities for technical areas students' programs assessment.

**Keywords:** source code, plagiarism, abstract syntax tree, tokenization, automated system

**Введение.** В рамках изучения дисциплин, связанных с программированием, студенты высших учебных заведений технических направлений должны выполнить определенный объем заданий, связанных с написанием программного кода. При оценке решений, предоставленных студентами, преподавателю бывает сложно понять, сам студент написал программу или нет, другими словами – оценить объем заимствования в программном коде.

Заимствованные фрагменты программного кода можно разделить на 4 типа:

1. Отличающиеся от оригинала оформлением и/или комментариями.
2. Отличающиеся литералами, идентификаторами, типами данных.
3. Отличающиеся порядком следования, добавлением, удалением и/или изменениями в выражениях и операторах.
4. Фрагмент, идентичный оригиналу по функциональности [1].

Каждый следующий тип заимствования может включать в себя предыдущий. Первые три типа заимствования могут быть названы текстовой схожестью, а четвертый тип - функциональной схожестью.

Существующие подходы по выявлению заимствований в программном коде можно классифицировать следующим образом:

1. Text-based. Строковое сравнение исходных текстов программ.
2. Token-based. Исходный текст преобразуется в последовательность лексем или токенов, последовательности токенов сравниваются.
3. Tree-based. Подход основан на построении и анализе абстрактного синтаксического дерева.
4. Binary-based. Метод основан на преобразовании исходного кода в машинный код.

Независимо от типа применяемого подхода, в результате анализа исходных текстов программ получается некоторый набор данных, к которому можно применить различные метрики расстояния. Рассчитав эти метрики, получают меру схожести исходных программ друг на друга.

Первый подход является самым простым, он не использует ни одно из перечисленных выше преобразований исходного кода. Сравниваемые исходные тексты преобразуются в строки, к которым применяется любой из алгоритмов сравнения строк. Данный подход является самым простым в реализации, но самым неэффективным. Второй подход Token-based основан на выделении токенов из исходного кода, полученные токены преобразуются в цепочку байт одинаковой длины, с помощью хэш-функций, таких как SHA-256 или MD5. Третий подход (Tree-based) основан на представлении исходного кода в виде AST (abstract syntax tree – абстрактного синтаксического дерева) [2-3]. Абстрактное синтаксическое дерево или дерево Канторовича – это вид дерева синтаксического разбора, в котором узлы дерева соответствуют операторам, а листья – операндам [4]. После построения AST деревья сравниваются между собой, для этого существуют специальные алгоритмы сравнения деревьев, например, Чжан-Шаша [5]. Данный алгоритм напоминает алгоритм вычисления редакционного расстояния Левенштейна, он оценивает количество требуемых преобразований и их стоимость для перехода от одного дерева к другому. Также существует метод Binary-based, в данном методе сравнивается машинный код после компиляции сравниваемых исходных кодов.

В табл. 1 приведено сравнение различных метрик расчёта текстового расстояния. Поскольку к расчёту текстового расстояния также можно применить различные подходы, то, например, применение токенизации в данном случае размывает границу между первым и вторым классом подходов к выявлению заимствований.

Табл. 1

Сравнение алгоритмов расчёта текстового расстояния

Категория	Подход	Преимущества	Недостатки	Области применения	Алгоритмы
Простые	Вычисление для каждой сравниваемой строки простых метрик	Простота Низкая вычислительная сложность Хорошо работают для коротких строк	Неэффективны для длинных строк. Не учитывают семантику Пригодны для узкого круга задач	Информатика	Сравнение префиксов/постфиксов Сравнение длин Проверка идентичности
Редакционное расстояние	Подсчёт минимального числа операций, необходимых	Простота Хорошо работают для коротких строк	Неэффективны для длинных строк	Проверка правописания Поиск дубликатов Анализ ДНК	Хэмминг Левенштейн Дамерау-Левенштейн

	для преобразования одной строки в другую		Высокая вычислительная сложность Не учитывают семантику	Оптическое распознавание символов Лингвистика	Джаро-Винклер Strcmp95 Нидлман-Вунш Смит-Ватерман MLIPNS
Расстояние на основе токенов (слов/лексем)	Сравнение на основе оценки составляющих строку токенов	Низкая вычислительная сложность Подходят для длинных строк Учитывают семантику	Плохо работают на строках с небольшим количеством токенов	Информатика Data Mining Обработка естественных языков Биоинформатика	Жаккар Сёренсен Тверский Симпсон Танимото Оттаи
Гибридные	Объединяют подходы редакционного расстояния и расстояния на основе токенов	Учитывают семантику Подходят для строк любой длины Подходят для текстов с ошибками	Высокая вычислительная сложность Результат может зависеть от порядка сравнения	Обработка естественных языков	Монге-Элкан
Расстояние на основе подстрок	Оценка подстрок исходной строки	Простота Хорошо работают для коротких строк	Неэффективны для длинных строк Высокая вычислительная сложность Не учитывают семантику	Информатика Биоинформатика Системы контроля версий	Рэтклифф-Обершелл Наибольшая общая подпоследовательность
Фонетические	Сравнение звучания или произношения строк	Хорошо работают для коротких строк	Неэффективны для длинных строк Не учитывают семантику Требуют предварительной обработки строк	Поиск имён СУБД	MRA Soundex Metaphone NYSIIS Editex

Существует много реализаций подходов, перечисленных выше. Так, например, решения Copydetect [6, 7] и Code-Antiplagiat [8], на основе метода Token-based, хорошо показывают себя на исходных текстах программ небольшого объёма – хорошо распознают простую замену переменных и перестановку местами блоков кода, но при кардинальном изменении блоков кода точность распознавания значительно снизится, что нельзя сказать о Pycode\_similar [9], в основе которого лежит подход Tree-based. Данный инструмент использует сравнение AST деревьев методом Чжан-Шаша (метрика расстояний на деревьях, аналог редакционного

расстояния). Поскольку вычисления расстояния для деревьев достаточно трудоемко, `Pycode_similiar` нецелесообразно использовать для проверки программ большого объема.

Рассмотрев все основные подходы, было принято решение реализовать автоматизированную систему, которая исключит недостатки рассмотренных выше аналогов. Так как каждый из подходов справляется со своей задачей в разных ситуациях по-разному, было принято решение использовать несколько алгоритмов нахождения заимствований. Автоматизированная система будет построена на базе клиент-серверной архитектуры. На стороне сервера будут находиться 4 основных модуля (рис. 1), которые будут выступать в качестве обработчиков и осуществлять передачу обработанных данных между пользовательским интерфейсом (UI) и базой данных программы.

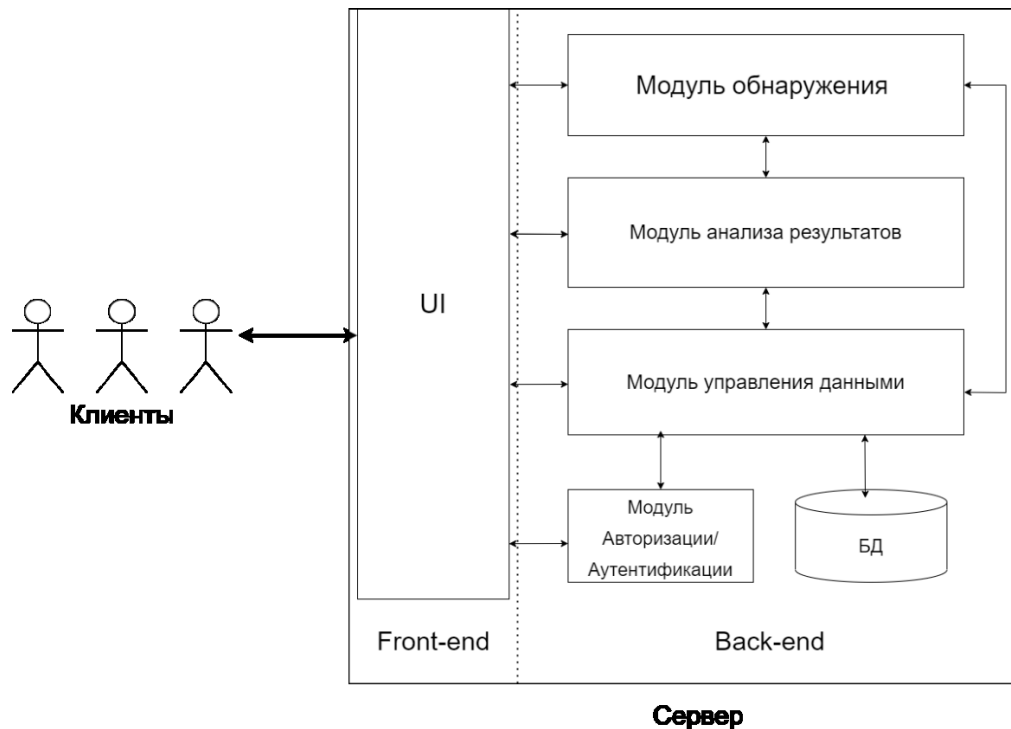


Рис. 1. Архитектура программы

Модуль обнаружения будет включать в себя подмодули:

- определение языка программирования;
- выбор алгоритма сравнения исходных кодов;
- сравнение исходных файлов.

Модуль анализа результатов будет выполнять подготовку данных для передачи в блок UI и отображения результатов работы программы пользователю. Необходимо предусмотреть возможность сохранения результатов работы программы в виде отчетов различных форматов. Модуль управления данными будет осуществлять контроль целостности данных, а также при необходимости выполнять функции объектно-реляционного отображения. Для взаимодействия с системой клиент должен пройти этапы идентификации, авторизации и аутентификации, для этого должен быть предусмотрен соответствующий модуль. В дальнейшем, поскольку программа имеет модульную структуру, ее функциональность можно будет дополнять новыми модулями. Например, создать подпрограмму построения единого шаблона построения AST, добавить систему оценивания или модели классификации/кластеризации наборов исходных текстов.

Проведя анализ существующих подходов и инструментов, предназначенных для выявления заимствований в исходных текстах программ, было обнаружено большое количество открытых разработок, реализующих алгоритмы того или иного подхода. Выбор

конкретного инструмента зависит от используемого языка программирования, конкретной задачи, а также объёма анализируемой кодовой базы.

На основе проведённого анализа было принято решение разработать собственную модульную автоматизированную систему, которая будет не только интегрировать существующие разработки, но и позволит централизованно хранить и обрабатывать исходные тексты, обладать гибкими возможностями расширения и удобным пользовательским интерфейсом.

#### **Литература:**

1. Chanchal R., Cordy J. A Survey on Software Clone Detection Research. School of Computing TR 2007-541, 2007.
2. Zhao, J., Xia, K., Fu, Y., Cui, B. An AST-based Code Plagiarism Detection Algorithm. In: Broadband and Wireless Computing, Communication and Applications (BWCCA), 2015 10th International Conference on. IEEE, 2015. – pp. 178–182.
3. Tao, G., Guowei, D., Hu, Q., Baojiang, C. Improved plagiarism detection algorithm based on abstract syntax tree. In: Emerging Intelligent Data and Web Technologies (EIDWT), 2013 Fourth International Conference on. IEEE, 2013. – pp. 714–719.
4. Шарый С. П. Конечномерный интервальный анализ. – Новосибирск: XYZ, 2019. – 635 с.
5. Zhang K., Shasha D. Simple Fast Algorithms for the Editing Distance Between Trees and Related Problems. SIAM J. Comput.. 18, 1989. pp. – 1245–1262.
6. Copydetect – copydetect documentation: сайт. – URL: <https://copydetect.readthedocs.io/en/latest/> (дата обращения: 12.03.2022). – Текст: электронный.
7. Schleimer. S., Wilkerson D., Aiken A. Winnowing: Local Algorithms for Document Fingerprinting. Proceedings of the ACM SIGMOD International Conference on Management of Data. 10. 10.1145/872757.872770, 2003.
8. Денис Волков / code-antiplagiat GitLab: сайт – URL: <https://bmsu.codes/denis.volkov/code-antiplagiat> (дата обращения: 12.03.2022). – Текст: электронный
9. GitHub - fyrestone/pycode\_similar: A simple plagiarism detection tool for python code: сайт. – URL: [https://github.com/fyrestone/pycode\\_similar](https://github.com/fyrestone/pycode_similar) (дата обращения: 12.03.2022). – Текст: электронный.

*Секция II.*  
**ПРОЕКТИРОВАНИЕ, МОДЕЛИРОВАНИЕ, ОПТИМИЗАЦИЯ, ДИАГНОСТИКА  
И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ В ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ**

УДК 004.415

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ  
ВЕДЕНИЯ ЗЕМЕЛЬ С/Х НАЗНАЧЕНИЯ И ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ,  
ВКЛЮЧАЯ ОБОРОТНОЕ ЗЕМЛЕДЕЛИЕ, РЕКУЛЬТИВАЦИЮ, АРЕНДУ**

**С.А. Максудова,**  
*студентка бакалавриата, maksosal20@mail.ru*  
*Научный руководитель: Ф.Ф. Иванов, к.т.н., с.н.с., профессор каф. АСОИУ,*  
*Сургутский государственный университет, Сургут, Россия*

**Аннотация.** В данной статье описываются основные этапы проектирования и разработки автоматизированной системы (АС) ведения сельскохозяйственных земель, предполагающей как учёт таких земель, так и их использование, применение севооборота, а также вопросы рекультивации, аренды таких земель. Обследование предметной области, поставленные задачи способствовали профессиональному построению и инфологической модели предметной области, а также контура АС, проекта интерфейса, технологии обработки данных. Полученные результаты позволят в дальнейшем развить функционал системы и повысить оперативность и достоверность управления такими землями.

**Ключевые слова:** земельный кадастр, кадастровый паспорт, земли с/х назначения севооборот, договор аренды, моделирование, инфологическая и функциональная модели, проектирование системы, интерфейс

**DESIGN AND DEVELOPMENT OF AN AUTOMATED SYSTEM  
FOR THE MANAGEMENT OF AGRICULTURAL LANDS AND THEIR USE,  
INCLUDING REVERSE FARMING, RECULTIVATION, LEASE**

**S. A. Maksudova, undergraduate student,**  
*Scientific adviser: F.F. Ivanov, Ph.D., senior researcher, professor of the department ASOIU,*  
*Surgut State University, Surgut, Russia*

**Abstract.** This article describes the main stages of designing and developing an automated system (AS) for managing agricultural lands, which involves both accounting for such lands and their use, the use of crop rotation, as well as the issues of reclamation and lease of such lands. The survey of the subject area, the assigned tasks contributed to the professional construction and infological model of the subject area, as well as the AS contour, interface design, data processing technology. The results obtained will allow further development of the functionality of the system and increase the efficiency and reliability of the management of such lands.

**Keywords:** land cadastre, cadastral passport, agricultural lands, crop rotation, lease agreement, modeling, infological and functional models, system design, interface

*Введение.* Создание автоматизированных систем (АС) позволяет повысить оперативность получения необходимой информации для конкретного пользователя. Это значит, что главным показателем для таких систем является быстрая и эффективная обработка данных. В зависимости от предметной области, АС предоставляют функционал, необходимый для выполнения конкретно поставленных действий, а также для анализа работы и управления, например, предприятия.

Создание АС всегда начинается с изучения и обследования предметной области и при этом выделяются основные термины, которые характеризуют процесс, подлежащий автоматизации.

Сельское хозяйство (с/х) – это одна из важнейших отраслей экономики, направленная на обеспечение населения продовольствием и получения сырья для ряда отраслей промышленности. Главной характеристикой с/х угодья является его кадастровый паспорт (КП). КП – это базовый документ, в котором содержится уникальный кадастровый номер участка земли и сведения о нём. Для того чтобы получить паспорт участка, собственнику необходимо подать заявку, которая сопровождается набором документов: паспорт, документ подтверждающий право на собственность, квитанции об уплате государственного сбора.

Для повышения продуктивности земли, а, следовательно, и достижения экономических показателей, используется наиболее эффективный способ – сдача земли в аренду. Это показатель того, что земля на данный момент находится в обороте, в использовании. Также цена аренды напрямую зависит от кадастровой стоимости земли, прописанной в КП и вида целевого назначения.

Также, каждая земля, которая используется под сельскохозяйственные культуры проходит чередование огородных культур и чистых паров по занимаемым полям (участкам) в течение определенного периода времени. Такой процесс называется севооборот. Поэтому проверять с/х угодья на правильное чередование посевов обеспечит сохранение качества почвы и повысит продуктивность.

Объединение вышеперечисленных процессов даст возможность создать АС, которая позволит автоматизировать процесс документооборота для ведения земель с/х назначения.

Цель: представить процессы проектирования и разработки автоматизированной системы на примере ведения учёта земель сельскохозяйственного (с/х) назначения и их использования.

Задачи: провести анализ предметной области и обзор аналогов. Спроектировать инфологическую модель предметной области и функциональную модель системы. Представить интерфейс, основные функциональные возможности.

#### Материалы и методы

Объект исследования – земли с/х назначения, расположенные на территории РФ, и все то, что к ним относится: КП, договор аренды, а также шаблоны документов для их формирования/создания и правила применения севооборота.

После изучения предметной области, были выделены следующие процессы:

- регистрация с/х угодий. Ведение базы данных с/х угодий;
- создание/формирование/составление КП;
- подсчет кадастровой стоимости с/х угодья с помощью средних удельных показателей кадастровых стоимостей земель в регионах РФ;
- назначение/регистрация собственника с/х угодья;
- регистрация арендатора договора аренды;
- создание/формирование/составление договора аренды;
- ведение базы договоров аренды с/х угодья;
- подсчет цены арендуемого с/х угодья, исходя из кадастровой стоимости зарегистрированного с/х угодья;
- поиск с/х угодья по виду разрешенного использования/проведенной рекультивации/наличию-отсутствию договоров аренды/по территориальному признаку;



–отслеживание севооборота, информирование о возможности/невозможности выращивания сельскохозяйственных культур;

–формирование отчета по общему количеству зарегистрированных прав на земельные участки по годам/месяцам.

В качестве аналога разрабатываемой АС рассматривается система Агрокомплекс 3.0 [1] и её подсистема «Учет земельных участков и взаиморасчеты с пайщиками», которая позволяет вести учет земельных участков, оформленных в собственность, так и находящихся на различных стадиях оформления или получаемых в аренду, и выполняет следующие функции:

–вывод сводки по выплате арендной платы;

–вывод сведений по земельным участкам;

–подсчет доли и отчет по прочим расходам;

–анализ использования денежных средств на приобретение и использование земельных участков;

–вывод юридической карточки;

–начисление арендных платежей.

Достоинствами данной АС является наличие подсистемы аналитических отчетов. Недостатки – не выявлены.

Большинство программ, которые приближены к проектируемой АС являются узконаправленными или охватывают конкретную с/х промышленность. Это можно отследить исходя из названий: «1С: Предприятие 8. ERP Агропромышленный комплекс» [2], «1С: Предприятие 8. ERP Управление птицеводческим предприятием» [3], «1С: Предприятие 8. Бухгалтерия сельскохозяйственного предприятия» [4] и т.д.

При разработке АС следует учесть и проанализировать функции из рассмотренного аналога, такие как:

1. Информация о земельных участках.

2. Расчет платежей аренды и стоимости земли.

После изучения автоматизированного процесса ведения или учета с/х земель и уже существующего на рынке аналога АС, можно составить перечень необходимых функциональных возможностей проектируемой системы:

1. Формирование кадастрового паспорта с/х угодья.

2. Формирование договоров аренды земли.

3. Подбор с/х культур для отслеживания соблюдения севооборота и вывод результатов на форму.

4. Формирование отчета по общему количеству зарегистрированных прав на земельные участки по годам/месяцам в таблицу.

Для решения первой функциональной задачи требуется спроектировать функциональную модель будущей АС. Можно воспользоваться методологией и графической нотацией IDEF0.

Контекстная диаграмма функциональной модели АС представлена на рис. 1.



Рис. 1. Контекстная диаграмма функциональной модели АС

Теперь необходимо провести декомпозицию блока А0 (рис. 2).

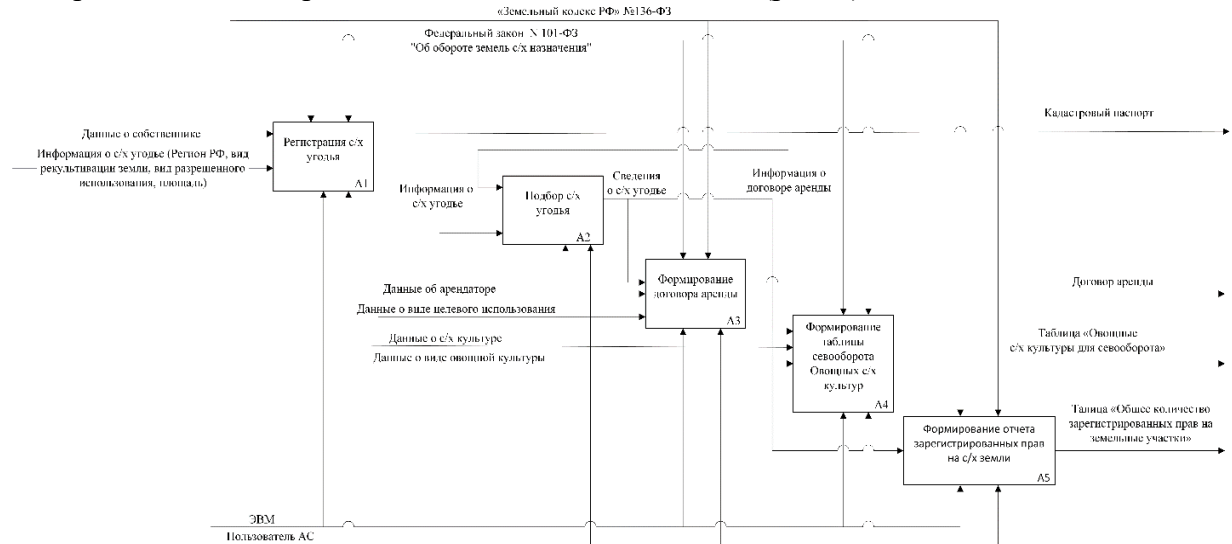


Рис. 2. Диаграмма декомпозиции блока А0 функциональной модели

Блок А1 содержит в себе несколько операций для формирования КП, поэтому его также следует декомпозировать (рис. 3).

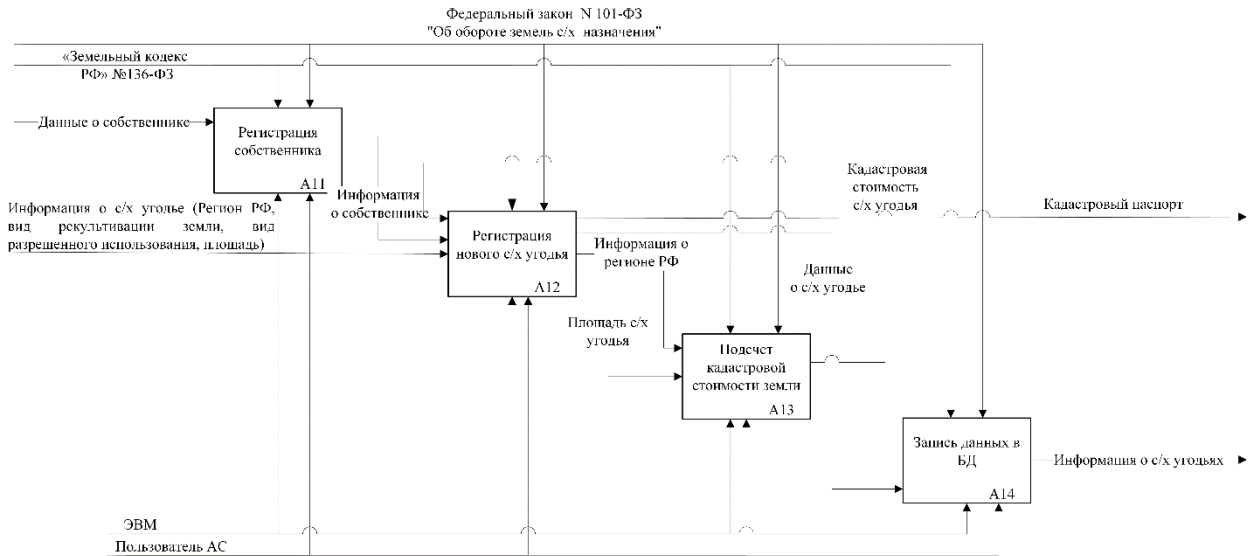


Рис. 3. Диаграмма декомпозиции блока A1 функциональной модели

После проектирования функциональной модели была создана база данных с помощью Microsoft SQL Server, которой соответствует инфологическая модель предметной области (рис. 4).

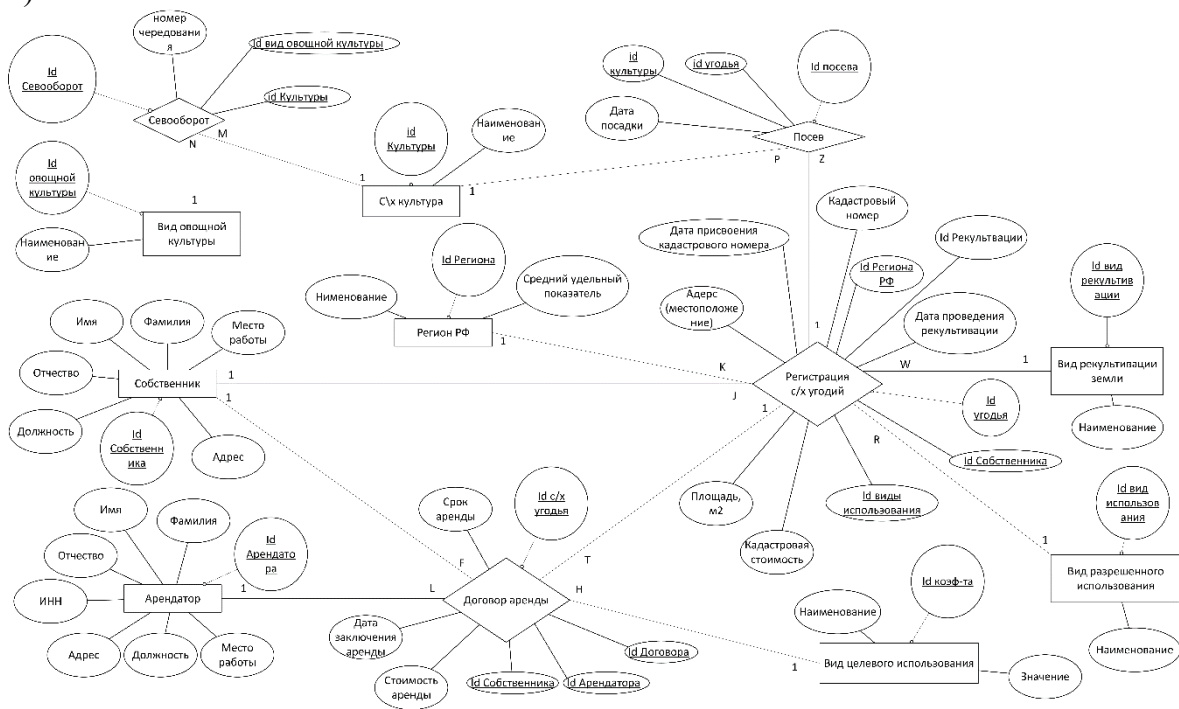


Рис. 4. Инфологическая модель предметной области

С помощью языка программирования C# и технологии доступа к базам данных - Entity Framework Core, который позволяет эффективно работать с базой данных и ее таблицами как с объектами классов независимо от типа хранилища, спроектирован прототип интерфейса.

Для регистрации с/х угодья используется форма на рис. 5.

Регистрация с/х угодья

Дата заявки: 16 марта 2022 г.

Кадастровый номер:

Дата присвоения кадастрового номера: 16 марта 2022 г.

Адрес (местоположение): Регионы РФ

Площадь, м2:

Кадастровая стоимость, руб: Подсчитать

Виды разрешенного использования: Виды разрешенного использования

Получатель выписки: Назначить

Вид рекультивации: Виды рекультивации земли

Дата проведения рекультивации: 16 марта 2022 г.

Регистрация

Рис. 5. Регистрация с/х угодья

Формирование КП происходит по нажатию кнопки «Сформировать документ» (рис. 6). Перед этим необходимо найти в базе номер КП.

Формирование кадастровых паспортов

	Cadastral_number	Name_Of_The_Docume
▶	4583	
	567830	567830.xlsx
	7836279	7836279.xlsx
	645294	645294.xlsx
	738204752	738204752.xlsx

Показать земли без кадастрового паспорта

Отменить последнее действие

Поиск

Сформировать документ

Рис. 6. Формирование КП

Данные о с/х угодье добавляются в Excel-файл и формируется КП (рис.7).

Выписка из Единого государственного реестра недвижимости об основных характеристиках и зарегистрированных правах на объект недвижимости

Сведения об основных характеристиках объекта недвижимости

На основании запроса от \_\_\_\_\_ потупившего на рассмотрение \_\_\_\_\_ сообщаем, что согласно записям Единого государственного реестра недвижимости:

Земельный участок вид объекта недвижимости	
Кадастровый номер:	567830
Дата присвоения кадастрового номера:	04.01.2022 0:00:00
Адрес (местоположение):	Свердловская область, Ул. Зеленая, 4
Площадь, м2:	600
Кадастровая стоимость, руб:	5 076 000 000
Категория земель:	данные отсутствуют
Виды разрешенного использования:	Овощеводство
Получатель выписки:	Кузнецова Юлия Анатольевна

полное наименование должности	ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ Дочерних Михаил Львович	инициалы, фамилия
-------------------------------	--	-------------------

Рис. 7. Сформированный КП

*Результаты и их обсуждение.* Рассмотрены этапы проектирования всей системы и разработка одной из функциональных задач. Также был разработан интерфейс для регистрации/поиска/смены собственников. Данная АС находится в процессе проектирования и разработки.

*Заключение.* Подводя итоги, можно сказать, что задачи выполнены и поставленная цель достигнута. Системе требуется расширение для всех оставшихся поставленных функциональных задач.

В будущем планируется возможность интеграции разработанной АС «Ведение земель с/х назначения» в другую автоматизированную систему, с целью ведения документооборота, и отчетности; размещение АС на персональном компьютере с корпоративной сетью, для того чтобы у всех сотрудников был доступ к одной и той же документации, и базе данных, расположенной на сервере; расширение возможностей севооборота, не только в рамках одной с/х культуры; улучшение качества документации с точки зрения оформления.

### **Литература:**

1. Компания «АдептИС» [Электронный ресурс]: Подсистема «Учет земельных участков и взаиморасчеты с пайщиками». URL: <https://adeptis.ru/landcount/> (дата обращения 15.01.2022)
2. Отраслевые и специализированные решения 1С: предприятия [Электронный ресурс]: 1С:Предприятие 8. ERP Агропромышленный комплекс. URL: <https://solutions.1c.ru/catalog/erpark/features> (дата обращения 15.01.2022)
3. Отраслевые и специализированные решения 1С: предприятия [Электронный ресурс]: 1С:Предприятие 8. ERP Управление птицеводческим предприятием. URL: <https://solutions.1c.ru/catalog/poultry-farm-erp> (дата обращения 15.01.2022)
4. Отраслевые и специализированные решения 1С: предприятия [Электронный ресурс]: 1С:Предприятие 8. Бухгалтерия сельскохозяйственного предприятия. URL: <https://solutions.1c.ru/catalog/agr-buh/features> (дата обращения 15.01.2022)

УДК 681.5

**ГИБРИДНЫЙ МЕТОД ГРУППОВОГО УПРАВЛЕНИЯ  
АВТОНОМНЫМИ НЕОБИТАЕМЫМИ ПОДВОДНЫМИ АППАРАТАМИ  
В ТРЕХМЕРНЫХ СРЕДАХ, ОТЛИЧАЮЩИЙСЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ  
ДИНАМИЧЕСКИХ ОТТАЛКИВАЮЩИХ СИЛ  
И КЛАСТЕРИЗАЦИИ ТРЕХМЕРНОГО ПРОСТРАНСТВА**

*В.С. Лазарев, ассистент кафедры Электротехники и Мехатроники,  
Институт Радиотехнических Систем и Управления,  
Южный Федеральный Университет, Ростов-на-Дону, vlazarev@sfedu.ru;  
Научный руководитель: А.Е. Кульченко, к. т. н., доцент кафедры ЭиМ ЮФУ*

**Аннотация.** Необходимость развития морской робототехники в нашей стране отражена в распоряжении Правительства РФ «О Стратегии развития морской деятельности РФ до 2030 года». Параллельно с этим повышается актуальность группового применения любых морских роботов и, в частности, автономных необитаемых подводных аппаратов (АНПА). Предлагаемый в работе метод является гибридным, это связано с тем, что гибридизация метода позволяет увеличить критерий качества его работы до 50%. В основе данного метода лежит кластеризация подвижных объектов в плоскости. Это может быть актуально, например, для решения задач мониторинга поверхностного микрослоя моря на малой глубине. Кластеризация позволяет объединить между собой АНПА в группе, связывая каждый лишь с ближайшими соседями. Для обхода препятствий, в случае, если группе необходимо разделиться, используются динамические отталкивающие силы. Данный метод основан на использовании неустойчивых режимов, предложенных профессором В.Х. Пшихоповым, однако отличается от них способом учета влияния неустойчивого режима на движение АНПА. Работоспособность метода подтверждена моделированием в среде Matlab.

**Ключевые слова:** АНПА, децентрализованное групповое управление, робототехника, управление движением, репеллеры, кластеризация, трехмерная среда

*V.S. Lazarev, assistant of the Department  
of Electrical Engineering and Mechatronics,  
Institute of Radio Engineering Systems and Control,  
Southern Federal University, Rostov-on-Don, vlazarev@sfedu.ru;  
Scientific adviser: A.E. Kulchenko, Ph.D., Associate Professor of the  
Department of E&M SFU*

**Abstract.** The need for the development of marine robotics in our country is reflected in the order of the Government of the Russian Federation on "On the Strategy for the Development of Marine Activities of the Russian Federation until 2030". In parallel with this, the urgency of the group use of any marine robots and, in particular, AUVs, is increasing. The method proposed in the work is hybrid, this is due to the fact that the hybridization of the method makes it possible to increase the quality criterion of its work up to 50%. This method is based on the clustering of moving objects in a plane. This may be relevant, for example, for solving problems of monitoring the surface microlayer of the sea at shallow depths. Clustering allows you to combine AUVs in a group, connecting each only with its nearest neighbors. To bypass obstacles, if the group needs to separate, dynamic repulsive

forces are used. This method is based on the use of unstable modes proposed by Professor V.Kh. Pshikhopov The efficiency of the method was confirmed by modeling in Matlab.

**Keywords:** AUV, decentralized group control, robotics, path planning, repellers, clustering, three-dimensional environment

Исследование выполнено в рамках НИР СП-96.2022.5.

*Введение.* Стремительное совершенствование возможностей автономных необитаемых подводных аппаратов создает все предпосылки для их использования в разных отраслях народного хозяйства России, в том числе для мониторинга [1]. Необходимость развития морской робототехники также отражена в распоряжении Правительства РФ от 30 августа 2019 г. № 1930-р «О Стратегии развития морской деятельности РФ до 2030 года». В данных условиях, повышается актуальность применения одновременно нескольких АНПА в составе группы.

Для решения задач группового управления роботами, в том числе, морскими, применяются мультиагентные подходы [2], технологии искусственного интеллекта [3], методы потенциальных полей и методы неустойчивых режимов, а также гибридные методы [4].

Большинство из перечисленных методов предполагают использование картографирования, требуют большого объема передаваемых данных и отличаются вычислительной сложностью, что осложняет их использование в данный момент на АНПА.

Более простые методы потенциальных полей и неустойчивых режимов, оказываются более эффективными в неопределенной среде [4]. Метод потенциальных полей [5] не требует мощных вычислителей и большого объема передаваемых данных, однако имеет проблему попадания в локальные минимумы. Метод неустойчивых режимов основан на применении теоремы Ляпунова о неустойчивости и является родственным методу потенциальных полей, однако позволяет оперативно реагировать на изменения среды, благодаря условию перехода из устойчивого режима в неустойчивый. Нужно отметить, что в работе [6] показано, что гибридизация методов при решении задач планирования пути приводит к увеличению интегрального критерия качества до 50 %.

*Материалы и методы*

На основании вышеперечисленного предлагается создание гибридного метода группового управления АНПА на базе кластеризации пространства, а также подхода с использованием динамических отталкивающих сил. Данный подход основан на методе неустойчивых режимов проф. Пшихопова [6], отличаясь от него введением дополнительной динамической переменной состояния.

Кластеризация необходима для того, чтобы определить, какие объекты являются соседями для АНПА.

Результаты использования кластеризации на основе двумерной триангуляции Делоне в методе управления движением группы показывают, что каждый АНПА (пять точек в центре квадрата) связывается только с соседями, которые могут меняться в процессе движения, и ограничениями области функционирования (вершины квадрата на рис. 1).

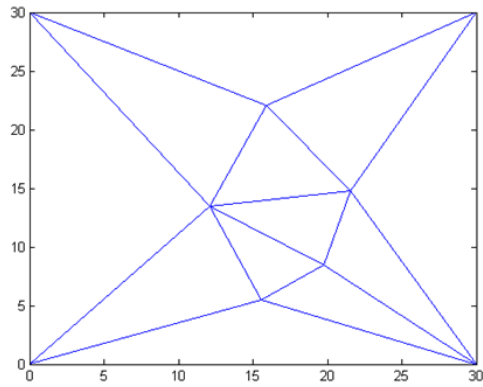


Рис.1. Кластеризация на основе двумерной триангуляции Делоне

Однако, для трехмерной среды более актуально использование трехмерной триангуляции Делоне. Тогда вершинами тетраэдров являются все объекты среды. Графически этот процесс выглядит так, как изображено на рис.3.

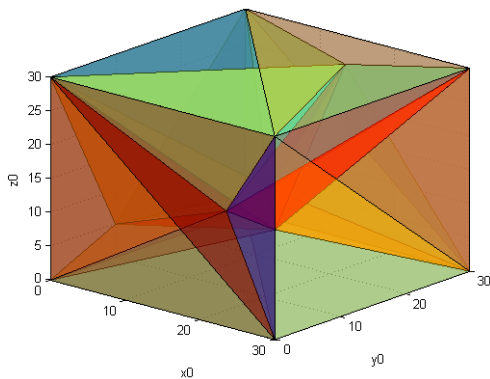


Рис.2. Графическое изображение трехмерной кластеризации

Необходимо описать формирование динамических отталкивающих сил для группы подвижных объектов при движении в трехмерной среде.

Метод динамических отталкивающих сил базируется на использовании репеллеров для решения задачи обхода препятствия. Формирование репеллеров показано на рис.3. При этом препятствие слева должно формировать динамическую силу, выталкивающую подвижный объект вправо, а препятствие справа – влево [7]. На рис.3  $y_{i-1}$  - координата препятствия слева,  $y_{i+1}$  - координата препятствия справа,  $F_r$  – вспомогательная переменная, используемая для формирования отталкивающих сил.

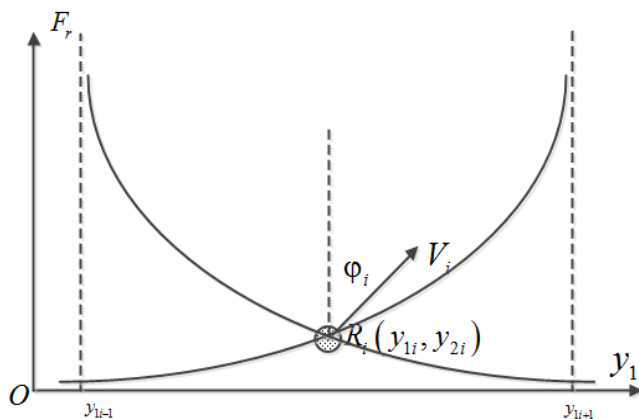


Рис.3. Формирование репеллеров



Отталкивающие силы формируются на основе информации о расстоянии до препятствий и до других членов группы [8]. Пусть функция, определяющая отталкивающую от репеллера силу, является степенной функцией расстояния между соседними роботами вдоль оси  $Oy_1$ . Тогда в самом простом случае динамический репеллер по координате  $y_1$  реализуется следующим уравнением:

$$\dot{y}_1 = \frac{1}{y_{1i} - y_{1i-1}} - \frac{1}{y_{1i+1} - y_{1i}} \quad (1)$$

Как следует из уравнения (1), переменная  $\dot{y}_1$  зависит от величин, обратных расстояниям от робота до препятствия.

Однако при использовании результата из уравнения 1 происходит достаточно резкое отклонение от препятствия или члена группы. Для случая, показанного на рис. 3, это вполне приемлемо, однако при увеличении количества препятствий и числа АНПА в группе возникает риск столкновения с другими АНПА при обходе одного препятствия. Для решения этой проблемы предлагается учитывать составляющую  $\dot{y}_1$  при движении следующим образом.

$$\dot{y}_1 = \dots + k + \dot{y}_1 \quad (2)$$

где  $\dot{y}_1$  - уравнение движения по координате  $y_1$  для  $i$ -того объекта в группе,  $\Delta y_{1i}$  - расчетное приращение координаты,  $k$  – коэффициент учета. Таким образом, достигается более плавное движение при обходе препятствий.

Таким образом, предлагаемый подход отличается от известных результатов тем, что репеллеры не формируют напрямую выходные переменные динамической системы, а лишь учитываются как дополнительная переменная состояния объекта. Для подтверждения полученных аналитических результатов реализуется вышесказанное в *Matlab*.

*Результаты и их обсуждение:* результаты моделирования работы метода представлены на рис.4. В начале функционирования группа выстраивается, благодаря кластеризации.

Затем группа начинает движение вдоль оси  $y_0$ . Обнаружив препятствие ( $y_0=55$ ) каждый АНПА в группе заблаговременно начинает перестроение, учитывая при этом расстояние до препятствия и до соседей по группе, которые начинают маневры для обхода препятствия.

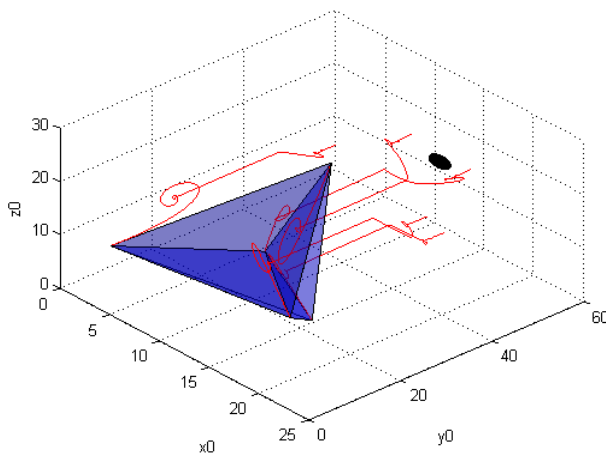


Рис.4. Результаты моделирования в Matlab

Таким образом, можно говорить о работоспособности предлагаемого подхода и возможном его применении для реальных АНПА.

**Литература:**

1. Мартынова Л. А. Метод эффективного удержания положения АНПА на маршрутной траектории при ведении сейсморазведки//Информационно-управляющие системы. 2018. № 3. С. 34–44
2. S. Garg, J. Quintas, J. Cruz and A. M. Pascoal, "NetMarSys - A Tool for the Simulation and Visualization of Distributed Autonomous Marine Robotic Systems," 2020 IEEE/OES Autonomous Underwater Vehicles Symposium (AUV), St Johns, NL, Canada, 2020, pp. 1–5, doi: 10.1109/AUV50043.2020.9267922
3. Зенкевич С. Л., Болотин Е. И. Задача кластеризации распределенных систем на примере групповой кооперации // Мехатроника, автоматизация, управление, 2013 № 8. С. 28–33.
4. Белоглазов Д. А., Гузик В. Ф., Медведев М. Ю. Интеллектуальные технологии планирования перемещений подвижных объектов в трехмерных недетерминированных средах: монография / под ред. профессора В. Х. Пшихопова. – Москва: Наука, 2017. – 231 с.
5. Ü. ASİL and E. USLU, "Potential Field Path Planning and Potential Field Path Tracking," 2020 Innovations in Intelligent Systems and Applications Conference (ASYU), 2020, pp. 1-4, doi: 10.1109/ASYU50717.2020.9259808.
6. Пшихопов В.Х., Медведев М.Ю. (2018). Групповое управление движением мобильных роботов в неопределенной среде с использованием неустойчивых режимов. Труды СПИИРАН, 5(60), 39–63.
7. Медведев М.Ю., Лазарев В.С. Алгоритм формирования траектории группы подвижных объектов в двумерной среде с использованием неустойчивых режимов – Научный вестник НГТУ, Новосибирск, вып. 3(64). 2016. С. 17–29.
8. Лазарев В.С. Обход препятствий группой БПЛА с использованием триангуляции трехмерной области и неустойчивых режимов // Образовательная робототехника в научно-техническом творчестве школьников и молодёжи: опыт, проблемы, перспективы: М-лы IV Всероссийской научно-практической конференции с международным участием (25–26 апреля 2019 г.). – Армавир: РИО АГПУ, 2019. С. 29–32.

УДК 531.01

**МЕТОДИКА ДИАГНОСТИКИ ЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ  
НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА УДАРНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ  
ПОСРЕДСТВОМ АЛГОРИТМОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ**

*Д.Е. Кондрашов, Сургутский государственный университет, Сургут, Россия,  
danil.jwx@yandex.ru*

*Научный руководитель: С.У. Увайсов, д-р техн. наук, профессор каф. АСОИУ,  
зав. кафедрой РТУ МИРЭА, Москва*

*К.И. Бушмелева, Сургутский государственный университет, Сургут, Россия*

**Аннотация.** Содержание статьи фокусируется на проблеме недостаточной эффективности существующих методов диагностики радиоэлектронных средств (РЭС), в частности, направленных на выявление конструктивных дефектов. Для решения проблемы предлагается использование современных информационных технологий, в том числе, алгоритмов машинного обучения. Разрабатываемая методика основана на анализе реакции изделия на ударное воздействие посредством искусственной нейронной сети, ответственной за распознавание и классификацию изображений с откликом объекта.

**Ключевые слова:** техническая диагностика, радиоэлектронные средства, ударные воздействия, дефекты, нейронные сети

**THE METHOD OF DIAGNOSTICS OF RADIO-ELECTRONIC MEANS  
BASED ON THE ANALYSIS OF SHOCK EFFECTS  
BY MEANS OF MACHINE LEARNING ALGORITHMS**

*D.E. Kondrashov, Surgut State University, Surgut, Russia  
Scientific supervisor: S.U. Uvaisov, Dr. Sci. sciences, professor ASOIU,  
head. Department of RTU MIREA, Moscow*

*K.I. Bushmeleva, Surgut State University, Surgut, Russia*

**Abstract.** The content of the article focuses on the problem of insufficient effectiveness of existing methods of diagnostics of radio-electronic means, in particular, aimed at identifying structural defects. To solve this problem, it is proposed to use modern information technologies, including machine learning algorithms, which in turn will be implemented in the developed methodology for diagnosing radio-electronic means based on the analysis of mechanical impacts and which in turn will involve artificial neural networks based on the recognition of images of structural defects obtained after mechanical impacts.

**Keywords:** technical diagnostics, radio-electronic means, impact effects, defects, neural network, machine learning, automated system

**Введение.** Активное развитие технологий производства радиоэлектронных изделий, постоянное стремление обеспечить высокое качество и надежность способствуют появлению все более совершенных методов контроля и диагностики различных дефектов, которые неизбежно проявляют себя на производстве любой сложности.

Так как любой дефект в изделии негативно сказывается на его эксплуатационных параметрах и даже может привести к серьезным авариям, наука и производство всегда находятся в поисках способов повышения такого показателя, как надежность. Одним из способов повышения надежности систем в целом и радиоэлектронных средств в частности является техническая диагностика.

При том, что значительная доля дефектов электронных средств имеет механическую природу [1], на сегодняшний день процессы контроля и диагностирования указанных изделий связаны, прежде всего, с отслеживанием их электрических характеристик. Важность проведения испытаний на механическое воздействие РЭС также состоит в том, что обнаружение некоторых конструктивных недостатков, как правило, возможно только в рамках приемочного контроля, в то время как электрические или тепловые параметры легче поддаются выявлению в процессе эксплуатации.

В связи с высокой значимостью обозначенных выше процессов диагностирования радиоэлектронных средств, в том числе и на этапе проверки конструктивных элементов, задача создания более эффективной методики диагностики электронных средств постоянно остается актуальной.

Как уже было сказано ранее, большая часть методов контроля и диагностирования направлены на анализ РЭС с точки зрения протекания электрических процессов. Тем не менее, научные публикации, связанные с выявлением конструктивных дефектов посредством теплового или механического воздействия, также остаются важной частью теории технического диагностирования в целом.

Серьезным недостатком имеющихся исследований является тот факт, что на сегодняшний момент сложность и разнообразие РЭС не позволяет выявить и идентифицировать все дефекты устройства с помощью какого-либо одного метода.

В рамках исследования выдвигается гипотеза, которая заключается в том, что наличие дефекта в конструкции РЭС может быть обнаружено в функции отклика системы на входной импульс, например, в виде одиночного удара. То есть, наличие какого-либо из дефектов окажет влияние на выходную характеристику самой конструкции, благодаря чему неисправность может быть идентифицирована по виду и параметрам этой характеристики.

Исследования показали, что наибольшее влияние на электронное средство оказывает сочетание вибрационных воздействий и одиночных ударов [2, 3]. По этой причине данные виды испытаний имеют наибольший приоритет, остальные нагрузки при этом можно отнести к дополнительным.

*Материалы и методы.* Опишем подробнее ударные воздействия, реакция на которые выступает в роли исходных данных, используемых при осуществлении диагностики в проводимом исследовании [4].

В механике удар – это некоторый кратковременный скачкообразный процесс. Во время удара в точке соприкосновения твердых тел возникают большие, но мгновенно действующие силы, вызывающие некоторый конечный импульс.

В качестве электронных средств и объектов для диагностики в пределах данного исследования выступают печатные узлы (ПУ). Основная идея разрабатываемой методики состоит в анализе подобных ударных воздействий на ПУ. При этом данным анализом будет заниматься нейронная сеть (НС) [5].

*Методы исследования.* Для решения обозначенных выше задач применены методы диагностики РЭС, теории ИНС, распознавания образов. В процессе работы использована программная библиотека TensorFlow, созданная специально для машинного обучения. Для моделирования ударного воздействия был использован программный комплекс SolidWorks.

*Описание методики диагностирования.* Опишем пробную методику диагностирования электронных средств в виде последовательности действий, которые необходимо выполнить:

1. Исследуемый ПУ помещается на тестовый ударный стенд.

2. На ПУ оказывается механическое воздействие в виде одиночного удара с импульсом треугольной формы.

3. Отклик узла отслеживается при помощи закрепленного на нем датчика в течение 1-ой секунды с частотой 1000 Гц.

4. Полученная зависимость амплитуды колебания от времени сохраняется на цифровом носителе в виде пар значений XY.

5. Сохраненный результат ударного воздействия подается на вход ИНС-модели.

Результатом работы ИНС-модели является числовое значение, указывающее на принадлежность исследуемого устройства к одному из рассматриваемых классов.

На основе полученного значения делается вывод о наличии либо отсутствии дефекта в ПУ.

Главным элементом в описанной выше методике выступает ИНС. От элементов, так или иначе связанных с ней, будь то выбор архитектуры сети или объем входных данных и их представление, во многом зависит точность диагностирования, а значит и эффективность методики в целом.

В рамках первых практических испытаний в качестве данных для тренировки НС были использованы результаты моделирования ударов на ПУ в программном комплексе SolidWorks [6]. Пример моделирования ударного воздействия представлен на рис. 1.

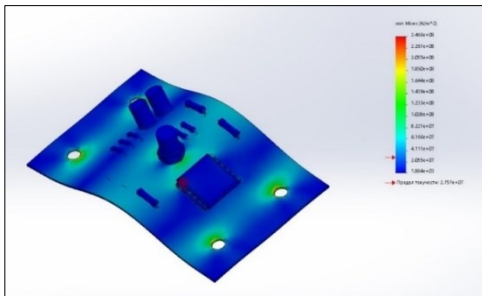


Рис. 1. Пример моделирования ударного воздействия в SolidWorks

При этом моделирование было произведено при следующих состояниях ПУ:

- 1) ПУ деформирован;
- 2) ПУ имеет неправильную компоновку элементов;
- 3) в узле был использован неправильный материал;
- 4) в узле присутствует посторонний элемент;
- 5) узел не имеет дефектов;
- 6) в узле присутствует трещина;
- 7) в узле был ослаблен крепеж;
- 8) в узле отсутствует один из компонентов.

Всего было получено 1008 результатов ударных воздействий на ПУ со 126-ю наборами данных на каждое описанное выше состояние узла соответственно. В дальнейшем как общее число результатов, так и количество классов будет увеличено.

*Выбор архитектуры нейронной сети.* В качестве архитектуры нейронной сети рассматривались два варианта:

1. Классический многослойный перцептрон.
2. Сверточная нейронная сеть.

Многослойный перцептрон (МП) – это архитектура нейронной сети прямого распространения, в состав которой входят как минимум 3 слоя: входной, скрытый и выходной [7].

В качестве функции активации во всех слоях, кроме последнего, используется функция ReLU (1).

$$f(x) = \begin{cases} 0, & x < 0 \\ x, & x > 0 \end{cases} \quad (1)$$

где  $x$  – значение, поступающее на выход из нейрона.

Для выдачи итогового результата в виде набора вероятностных оценок, дающих в сумме единицу, была использована функция softmax (2).

$$\sigma(z)_i = \frac{e^{z_i}}{\sum_{k=1}^K e^{z_k}} \quad (2)$$

где  $z$  – вектор размерности  $K$ ,  $\sigma$  – вектор размерности  $K$ ,  $e$  – экспонента.

Скомпилированная модель после 5-ти эпох тренировки дает точность ниже 15%, что продемонстрировано на рис. 2.

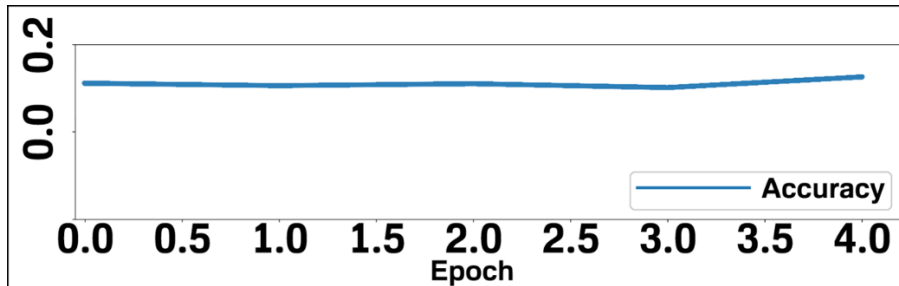


Рис. 2. Точность классификации многослойного перцептрона

Полученный результат нельзя назвать приемлемым, тем не менее точность можно повысить путем увеличения числа эпох или переконфигурированием слоев.

Альтернативой многослойному перцептрону выступает сверточная нейронная сеть (CNN) [8, 9]. Данная архитектура предназначена в первую очередь для распознавания и классификации изображений, что не является помехой, поскольку результаты ударных воздействий легко отобразить в виде графиков.

Имея результаты ударных воздействий в виде совокупности точек  $(X, Y)$ , можно построить изображения графиков, которые остается лишь подать на вход модели НС, однако существует более эффективный подход для классификации подобных исходных данных. Если взглянуть на левую часть рис.3, отражающую график ударного воздействия на печатный узел, то можно заметить, что значительную часть пространства на изображении занимают пустоты, не содержащие информации, а при уменьшении размера изображения теряется детализация самой кривой на графике.

Для разрешения данной проблемы вместо использования графика необходимо получить изображение GAF-матрицы или угловой матрицы Грама, использование которой для анализа временных рядов уже дает высокую точность классификации на популярных классических наборах данных [10].

Формулы получения угловой матрицы Грама – нормирование ряда в отрезок  $[-1, 1]$  (3), перевод значений в полярную систему координат (4), вычисление элементов матрицы GAF (5).

$$\hat{y}_i = \frac{(y_i - \max(Y)) + (y_i - \min(Y))}{\max(Y) - \min(Y)} \quad (3)$$

где  $Y$  – совокупность все имеющихся точек  $y$ ,  $y_i$  –  $i$ -тая точка  $Y$ ,  $\hat{y}_i$  – нормированное значение  $y_i$ .

$$\varphi_i = \arccos(y_i) \quad (4)$$

где  $\varphi_i$  – полярный угол для точки  $y_i$ .

$$G = \begin{bmatrix} \cos(\varphi_1 + \varphi_1) & \cdots & \cos(\varphi_1 + \varphi_n) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \cos(\varphi_n + \varphi_1) & \cdots & \cos(\varphi_n + \varphi_n) \end{bmatrix} \quad (5)$$

где  $G$  – угловая матрица Грама (GAF-матрица).

*Результаты и их обсуждение.* Все описанные выше формулы были внедрены в скрипт на языке Python, который считывает Y-столбец каждого эксперимента и генерирует соответствующее ему изображение матрицы. Переход от графика к матрице продемонстрирован на рис. 3.

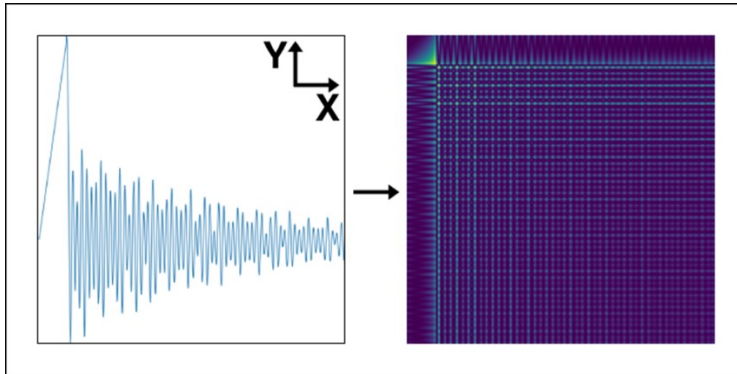


Рис. 3. Переход от изображения графика (X, Y) к угловой матрице Грама

Конечная конфигурация нейронной сети, использованная для обучения, представлена на рис.4 [11, 12].

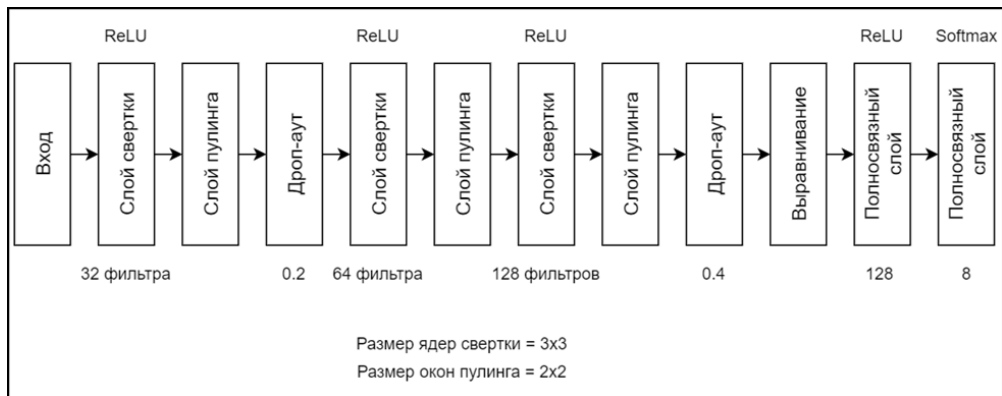


Рис.4. Выбранная конфигурация для CNN

Скомпилированная модель CNN обеспечивает точность в 98% на тренировочных данных, что представлено на рис. 5.

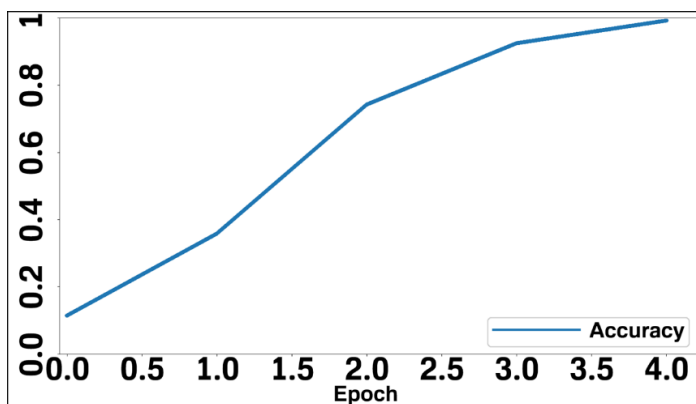


Рис. 5. Точность классификации сверточной нейронной сети

Тот же результат достигается при проверке сети на выделенных от изначального набора данных 10% изображениях с матрицами, которые не участвовали в процессе обучения.

Таким образом, можно сказать, что архитектура сверхточной нейронной сети показала отличные результаты, опередив по точности классификации МП. В совокупности с эффективным, с точки зрения плотности информации, представлением данных CNN показывает точность в 98% против 12% у МП за одинаковое число итераций обучения.

*Заключение.* В рамках данной статьи была выдвинута гипотеза о возможности выявления конструктивного дефекта в РЭС в функции отклика системы на входной импульс, описана методика диагностирования электронных средств на основе анализа ударных воздействий посредством алгоритмов машинного обучения, а именно – ИНС. Высокая точность предсказаний нейронной сети на смоделированных дефектах говорит о перспективности выбранного подхода.

Следующим этапом в реализуемом исследовании станет проведение большего числа экспериментов, которые будут направлены на выявление стабильности работы ИНС-модели, достоверности её результатов при использовании печатных узлов с иной компонентной базой.

Помимо этого, в следующих экспериментах печатный узел будет рассматриваться, как помещенный в некоторую изолированную среду, – закрытый блок. Такой подход подчеркивает практическую значимость проводимых исследований, поскольку в реальных производственных процессах ПУ редко рассматриваются независимо, вне контура некоторой системы из различных элементов.

#### **Литература:**

1. Увайсов С. У., Увайсов Р. И. Новая концепция вибродиагностики электронных средств // Надежность и качество. 2010. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/novaya-kontseptsiya-vibrodiagnostiki-elektronnyh-sredstv> (дата обращения: 01.02.2022).
2. Лабковская Р.Я. Методы и устройства испытаний ЭВС. Часть 1: Учеб. пособие. – СПб: Университет ИТМО, 2015. – 164 с.
3. Лышов С.М., Увайсов С.У., Черноверская В.В., Фам Лэ. К.Х. Инженерная методика вибродиагностики конструкций бортовых радиоэлектронных средств // Научные технологии. 2020. Т. 21. № 2–3. С. 29–38.
4. Бушмелева К.И., Бажаев А.Б., Увайсов С.У., Бушмелев П.Е. Автоматизированная система расчета отбраковочных допусков на электрорадиоэлементы электронных средств // Вестник кибернетики. 2018. № 1 (29). С. 72–81.
5. Бушмелева К.И., Васильчук А.Н. Аспекты машинного обучения в крупной компании нефтегазовой отрасли // Вестник кибернетики. 2018. № 1 (29). С. 82–85.
6. SolidWorks [Электронный ресурс]: официальный сайт программного комплекса. Режим доступа: <https://www.solidworks.com/ru> (дата обращения: 01.02.2022)
7. AIportal [Электронный ресурс]: многослойный перцептрон. – Режим доступа: <http://www.aiportal.ru/articles/neural-networks/multi-perceptron.html> (дата обращения: 01.02.2022)
8. CS231n [Электронный ресурс]: Convolutional Neural Networks for Visual Recognition. — Режим доступа: <http://cs231n.stanford.edu> (дата обращения: 01.02.2022)
9. Towards Data Science [Электронный ресурс]: Convolutional Neural Networks from the ground up. – Режим доступа: <https://towardsdatascience.com/convolutional-neural-networks-from-the-ground-up-c67bb41454e1> (дата обращения: 01.02.2022)
10. arxiv.org [Электронный ресурс]: Imaging Time-Series to Improve Classification and Imputation. – Режим доступа: <https://arxiv.org/pdf/1506.00327.pdf> (дата обращения: 01.02.2022)
11. Гафаров Ф. М Искусственные нейронные сети и приложения: учеб. пособие / Ф.М. Гафаров, А.Ф. Галимянов. – Казань: Изд-во Казан. ун-та, 2018. – 121 с.
12. Гудфеллоу Я., Бенджио И., Курвилль А. Глубокое обучение / пер. с англ. А.А. Слинкина. – 2-е изд., испр. – М.: ДМК Пресс, 2018. – 652 с.



УДК 004.422

## **МЕТОДЫ, СРЕДСТВА, ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ОТТОКА КРОВИ В БАСЕЙНЕ НИЖНЕЙ ПОЛОЙ ВЕНЫ**

*И.С. Бусыгин, магистрант СурГУ, busygin@edu.surgu.ru,  
Сургутский государственный университет, Сургут, Россия  
Научный руководитель: Н.Р. Урманцева, старший преподаватель каф. АСОИУ*

**Аннотация.** В данной статье была описана актуальность повышения эффективности методов и средств по выявлению заболевания хронической венозной недостаточности. Предмет исследования – математическое и программное обеспечение для выявления заболевания сосудов нижних конечностей человека. Целью данной работы является повышение эффективности методов и средств по выявлению заболеваний хронической венозной недостаточности. В качестве методов исследования были использованы: аналитический метод, графический метод, алгоритмическое моделирование. В результате были рассмотрены методы симуляции жидкостей. Произведён обзор средств для моделирования гидродинамики крови.

**Ключевые слова:** хроническая венозная недостаточность, гидродинамика, моделирование гемодинамики, SimVascular, ANSYS

## **METHODS, TOOLS, SOFTWARE FOR MODELING HYDRODYNAMIC PROCESSES OF BLOOD OUTFLOW IN THE BASIN OF THE INFERIOR VENA CAVA**

*I.S. Busygin, undergraduate,  
Surgut State University, Surgut, Russia, busygin@edu.surgu.ru  
Scientific supervisor: N.R. Urmantseva, senior lecturer of the department ASOIU*

**Abstract.** This article describes the relevance of improving the effectiveness of methods and means for detecting the disease of chronic venous insufficiency. The subject of the study is mathematical and software for detecting vascular diseases of the lower extremities of a person. The purpose of this work is to increase the effectiveness of methods and tools for the detection of diseases of chronic venous insufficiency. The following research methods were used: analytical method, graphical method, algorithmic modeling. As a result, methods of fluid simulation were considered. A review of tools for modeling blood hydrodynamics has been carried out.

**Keywords:** chronic venous insufficiency, hydrodynamics, hemodynamic modeling, SimVascular, ANSYS

**Введение.** В настоящее время, по данным всемирной организации здравоохранения, стержневой проблемой современного здравоохранения являются сердечно-сосудистые заболевания. Заболевания системы кровообращения являются лидирующей причиной смертности в развитых странах. Нарушение венозного оттока из нижних конечностей, в большинстве протекающее в форме хронической венозной недостаточности - самая часто встречающаяся патология сосудов у человека.

Актуальность темы обусловлена тем, что с одной стороны, в Российской Федерации порядка 1000000 человек инвалидизировано вследствие наличия различных заболеваний вен нижних конечностей, и диагностика данной патологии на ранних стадиях почти не проводится. С другой стороны, отсутствуют методы, средства, программное обеспечение для моделирования гидродинамических процессов оттока крови в бассейне нижней полой вены.

Наиболее значимыми с точки зрения бремени болезни и, соответственно, уровня затрат системы здравоохранения на лечение, являются те формы хронических заболеваний вен, которые сопровождаются нарушением оттока из глубоких вен нижних конечностей и магистральных вен брюшинного пространства. До недавнего времени помочь этим пациентам было весьма проблематично ввиду сложности диагностики и непредсказуемости результатов оперативного лечения.

Одновременно, необходимо подчеркнуть, что отсутствие адекватного понимания механизмов оттока венозной крови из нижних конечностей порождает отсутствие сколь либо надежных методов лечения таких больных. Попытки хирургической коррекции переоцененных стенозов в венах будут продолжать носить хаотический характер до тех пор, пока не появится более-менее надежная модель венозного оттока, обладающая предсказательной силой.

Предметом исследования в данном случае является математическое и программное обеспечение для выявления заболеваний сосудов нижних конечностей человека, так как это то конкретное, что будет разрабатываться для решения поставленной проблемы.

В связи с тем, что объект исследования – это процесс, в котором была выявлена проблема, то объектом исследования является диагностика заболеваний вен нижних конечностей человека.

Цель работы заключается в том, чтобы повысить эффективность методов и средств по выявлению заболеваний хронической венозной недостаточности.

Задачи исследования:

Выбор и утверждение темы. Поиск литературы, методов и средств реализации проекта. Исследование предметной области. Формулирование цели работы и научно-технических задач. Формулирование области, объекта и предмета исследования.

Выполнение обзора методов и средств компьютерного моделирования гидродинамики жидкости с определённой реологией.

Выполнение обзора прямых и косвенных аналогов разрабатываемого программного продукта. Выбор среды и технологии разработки.

Разработка алгоритмов обработки и анализа неинвазивных исследований пациента для определения ключевых параметров моделирования.

Проектирование и разработка информационной системы, позволяющей моделировать гидродинамические процессы оттока крови в бассейне нижней полой вены, отладка, тестирование разработанной системы. Формулирование требований к аппаратному и программному обеспечению для развертывания ИС. Теоретическая основа исследования сформирована на базе трудов ученых: А.Н. Веденский, В.Я. Хрщанович, К.В. Мазайшвили, А.А. Зорькин, С.Н. Багаев, В.Н. Захаров, В.А. Орлов, Н.Р. Урманцева, А.В. Свешников, В.А. Глотов, В.В. Дарвин, Е.В. Дрожжин, В.В. Шебряков, Р.Э. Мамедов, С.Д. Murray, Прокоп, М. Галански и др.

В качестве методов исследования были использованы: аналитический метод, графический метод, алгоритмическое моделирование.

Теоретическая значимость работы заключается в том, что полученные результаты могут быть использованы для реализации смежных проектов, в состав которых входят задачи по моделированию гидродинамических процессов.

Практическая значимость работы заключается в том, что система, предназначенная для моделирования движения крови, позволит вычислять кровоток в любой точке сосудистого русла и прогнозировать поведение сосуда до и после хирургического вмешательства. Причём

полученные результаты работы предназначены не только для виртуального имитирования и оценки исходов оперативного лечения у пациентов с хроническими заболеваниями вен нижних конечностей, но и для учебных и научных целей.

*Материалы и методы.* Гидродинамика – раздел физики сплошных сред и гидроаэродинамики, изучающий движение идеальных и реальных жидкостей и газа и их силовое взаимодействие с твердыми телами.

Реология – это наука, занимающаяся исследованием деформации и текучести вещества.

Гемореология – реология крови, которая занимается изучением биофизических особенностей и механических закономерностей крови, изменениями свойств крови на различных участках при циркуляции на различных скоростях, а также свойств самой крови [1].

Характер кровотока разделяют на ламинарный и турбулентный. Ламинарное течение – это слоистое стационарное течение жидкости, без завихрений и смешивания слоев жидкости.

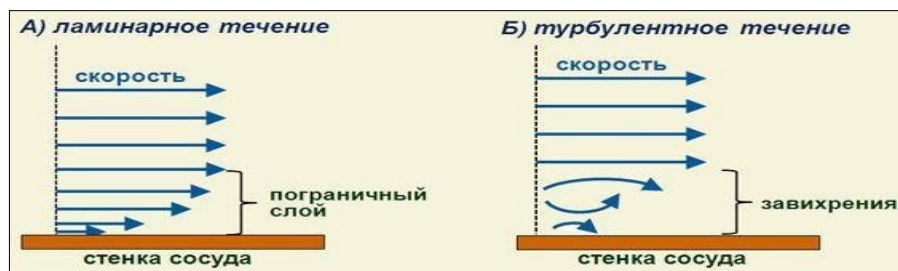


Рис.1. Профили скоростей при течении вязкой жидкости по сосуду

Слои скользят относительно друг друга. Турбулентное течение – вихревое течение, образованное хаотичным изменением скорости движения частиц и их траектории.

Режим течения жидкости зависит от свойств жидкости, размера сосуда, скорости течения [2].

Гемодинамика – движение крови по сосудам, возникающее вследствие разности гидростатического давления в различных участках сосудистой системы [3].

Основная движущая сила – разность давлений в начальном и конечном отделах вен, создаваемая работой сердца.

Кровообращение в конечностях отличается рядом специфических черт, находящих отражение в конструкции их сосудистого русла. Венозный отток из нижних конечностей теснейшим образом связан со спецификой постуральных реакций. Представляется целесообразным рассмотреть три ситуации:

1. Венозный отток в горизонтальной позиции.
2. Венозный отток в вертикальной позиции.
3. Венозный отток при ходьбе.

Все методы симуляции жидкостей основаны на уравнениях Навье - Стокса. Это система дифференциальных уравнений в частных производных, описывающих движение вязкой ньютоновской жидкости. Они также применяются для моделирования других явлений, как например, дым и огонь. В векторном виде для жидкости они записываются следующим образом:

$$\frac{\partial \vec{v}}{\partial t} = -\vec{v} * (\nabla \vec{v}) + \nu \Delta \vec{v} - \frac{1}{\rho} \nabla p + \vec{f} \quad (1)$$

где  $\nabla$  - оператор набла,  $\Delta$  - векторный оператор Лапласа,  $t$  – время,  $\nu$  – коэффициент кинематической вязкости,  $\rho$  – плотность,  $p$  – давление,  $\Delta \vec{v}$  – векторное поле скоростей,  $\vec{f}$  – векторное поле массовых сил [4].

Существует несколько конкурирующих методов моделирования жидкости, каждый из которых имеет свои преимущества и недостатки:

1. Метод конечных разностей.
2. Метод конечных объёмов.
3. Метод решёточных уравнений Больцмана.

SimVascular - это интерактивное приложение, используемое для создания индивидуальных геометрических моделей сосудистой сети человека на основе данных трехмерной медицинской визуализации, полученных для определенной анатомической области. Эти модели затем используются в качестве основы для моделирования кровотока с использованием различных численных методов. Последовательность шагов, используемых SimVascular для этого, называется конвейером моделирования на основе изображений [5].

Визуальное представление этапов конвейера (рис. 2) дает представление о данных (в основном геометрических), созданных на каждом этапе.

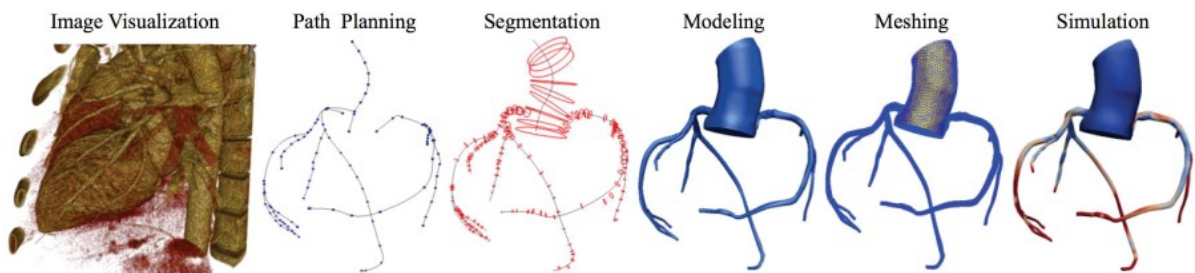


Рис.2. Конвейер моделирования на основе изображений SimVascular

Главное окно приложения состоит из MenuBar, ToolBar, диспетчера данных и дисплея. Дополнительная панель инструментов отображается в правой части окна, когда инструмент активен (рис. 3).

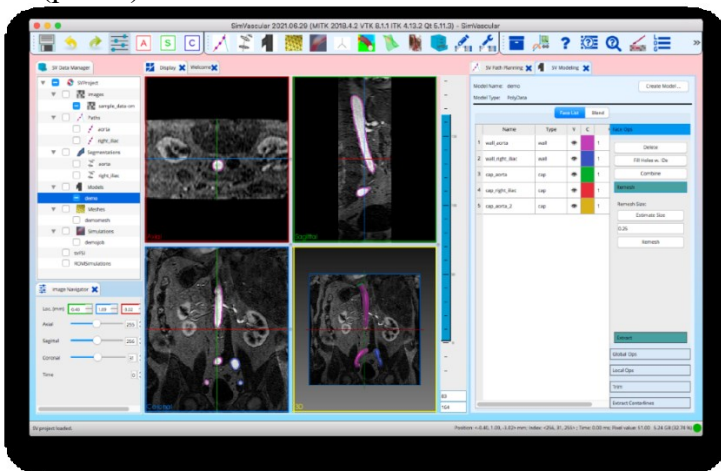


Рис.3. Главное окно приложения SimVascular

ANSYS — универсальная программная система конечно-элементного анализа, существующая и развивающаяся на протяжении последних 30 лет, является довольно популярной у специалистов в сфере автоматизированных инженерных расчётов.

ANSYS использует метод конечных элементов. ANSYS FLUENT - программный модуль, обладающий обширным функционалом в области вычислительной динамики жидкостей и газов [6].

Данный модуль полностью интегрирован в рабочую среду ANSYS Workbench — платформу, объединяющую весь набор средств инженерного моделирования компании ANSYS. Главное окно приложения представлено на рис. 4

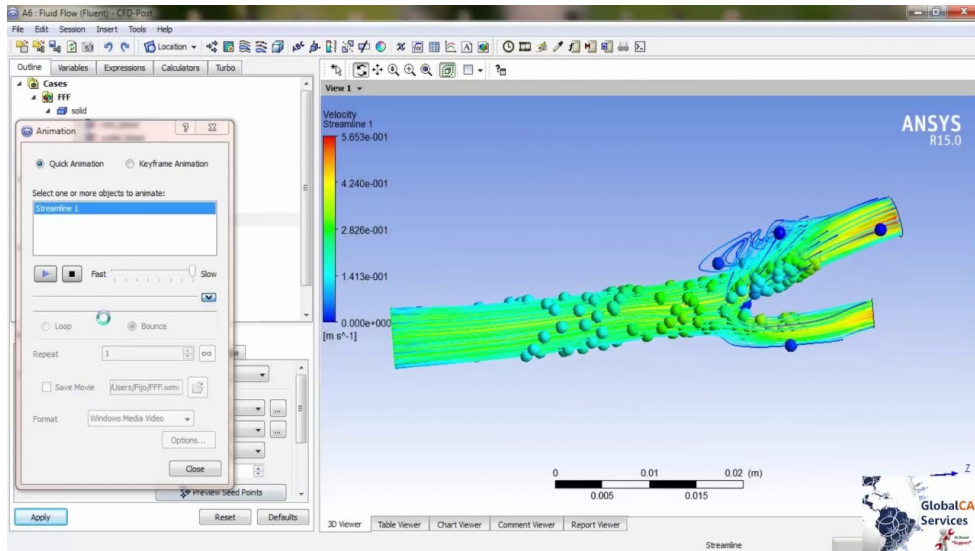


Рис.4. Главное окно приложения ANSYS

*Заключение.* В данной статье были сформулированы цели работы и научно-технических задач. Описана актуальность повышения эффективности методов и средств по выявлению заболевания хронической венозной недостаточности. Сформулированы объект и предмет исследования. Исследована предметная область. Были рассмотрены методы симуляции жидкостей. Произведён обзор средств для моделирования гидродинамики крови.

В дальнейшем планируется разработка алгоритмов обработки и анализа неинвазивных исследований пациента для определения ключевых параметров моделирования. Также, планируется проектирование и разработка информационной системы, позволяющей моделировать гидродинамические процессы оттока крови в бассейне нижней полой вены, отладка, тестирование разработанной системы

### Литература:

1. Абакумов М.В., Гаврилюк К.В., Есикова Н.Б. и др. Математическая модель гемодинамики сердечно – сосудистой системы. Дифференциальные уравнения, 1997, 33 (7), С. 892–898.
2. Фундаментальная и клиническая физиология / Под ред. А. Камкина и А. Каменского-М.: Academia, 2004 – 1080 с.
3. Википедия [Электронный ресурс]: Гемодинамика. – Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%93%D0%B8%D0%B4%D1%80%D0%BE%D0%B4%D0%B8%D0%BD%D0%B0%D0%BC%D0%B8%D0%BA%D0%B0>
4. Мазо А.Б., Поташев К.А. Гидродинамика: учеб. пособие для студентов [Электронный ресурс]: [https://kpfu.ru/docs/F532287718/Mazo\\_Potashev\\_Gidrodinamika.pdf](https://kpfu.ru/docs/F532287718/Mazo_Potashev_Gidrodinamika.pdf)
5. Приложение для моделирования simvascular [Электронный ресурс]: Режим доступа: <https://simvascular.github.io/>
6. Приложение для моделирования ansys [Электронный ресурс]: Режим доступа: <http://www.ansys.com/>

УДК 519.24

## АДАПТИВНОЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ВХОДНЫХ ПАРАМЕТРОВ ПРИ ДОБЫЧЕ НЕФТИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РЕКУРРЕНТНОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ

*Е.Д. Семенов, магистрант, кафедра Автоматики и компьютерных систем,  
Сургутский государственный университет, Сургут, Россия;  
Сургутнефтегаз, СургутАСУнефть; semunoff90@gmail.com  
Научный руководитель: Д.В. Тараканов, канд. техн. наук, доцент,  
кафедра автоматики и компьютерных систем*

**Аннотация.** Применение искусственного интеллекта на данный момент наиболее развито в развлекательной области, в то время как его внедрение в производство на территории Российской Федерации заметно отстаёт. Сейчас управление добычи нефти основывается на полученных результатах в процессе этой добычи. Однако такой метод не надежен и его применение ограничено для некоторых месторождений.

Целью данной работы является: анализ методов прогнозирования, изучение работы РНС и LSTM-модели для внедряемой в производство нейронной сети нахождения зависимостей по выбранным параметрам добычи нефти. Исследовать точность прогнозирования в зависимости от размера обучающей выборки и выбранных параметров.

**Ключевые слова:** нейронная сеть, машинное обучение, добыча нефти, поиск зависимостей, рекуррентная нейронная сеть, прогнозирование

## ADAPTIVE FORECASTING OF INPUT PARAMETERS IN OIL PRODUCTION USING A LINEAR NEURAL NETWORK

*E.D. Semenov, graduate student, Department of Automation and Computer Systems,  
Surgut State University, Surgut, Russia;  
Surgutneftegaz, SurgutASUneft; semunoff90@gmail.com  
Scientific adviser: D.V. Tarakanov, Cand. tech. Sciences, Associate Professor,  
Department of Automation and Computer Systems*

**Abstract.** At the moment, the use of artificial intelligence is most developed in the entertainment field, while its implementation in production in the Russian Federation lags far behind. Now the management of oil production is based on the results obtained in the process of this production. However, this method is not reliable, and its application is limited for some fields.

The purpose of this work is: the introduction into production of a neural network to find dependencies for the selected parameters of oil production.

As a result, it is planned to implement a WEB service for forecasting oil production. The functionality of the site provides the ability to select parameters for training a neural network, enter controlled parameters for forecasting oil production and visualize the results in the form of graphs and reports.

**Keywords:** Neural network, machine learning, oil production, dependency search, linear neural network, forecasting

*Введение.* Разработка месторождений на естественных режимах, т. е. проявление пластовой энергии при добыче нефти и газа длится 3–5 лет, и это считается небольшим сроком. Для последующего увеличения нефтеотдачи применяются методы с искусственным воздействием на пласт. Одним из таких методов является закачка воды. Со временем происходит падение пластового давления, и, как следствие – снижение дебитов скважин. Нагнетаемая жидкость восполняет потери, восстанавливая и поддерживая давление, следовательно, увеличивает нефтеотдачу. Помимо этого, вода вытесняет нефть, а при продолжительной закачке вымывает оставшиеся частицы [1]. Расчеты для регулирования подачи нагнетающей жидкости зависят от множества аргументов, начиная от количества и давления самой закачки и заканчивая коэффициентами охвата пласта заводнением и коэффициентом вытеснения, которые в свою очередь зависят от полученных данных при добыче [2]. Сложно оценить, какие предстоят затраты в следующий период времени на нагнетание.

На текущий момент управление добычи нефти основывается на полученных результатах, например, метод скользящего окна. Применение такого метода индивидуально для каждого месторождения.

Параметры, полученные в процессе, и результаты за прошедшее время можно применить как входы и эталонные выходы (стимул-реакция) в обучающей выборке нейронной сети, тем самым построить прогноз и выбрать оптимальное решение в управлении добычей.

*Цель исследования* заключается в создании искусственной нейронной сети для прогнозирования параметров добычи нефти. Задачи - исследование точности прогноза в зависимости от периода и изучение эффективности использования рекуррентной нейронной сети в решении задачи экстраполяции.

*Материалы и методы.* Все параметры, полученные в процессе добычи нефти каждой скважины каждого месторождения, записываются в базы данных и хранятся достаточно продолжительное время. Используя эти записи, специалисты наблюдают графики, собирают статистику, ведут поиск зависимостей, и по ним принимаются дальнейшие решения по управлению добычей.

Предоставленные данные являются временными рядами, и для прогнозирования больше всего подходит использование рекуррентных нейронных сетей (далее РНС). Этот вид нейронной сети имеет образованную направленную последовательность в связях между элементами, благодаря чему появляется возможность обрабатывать серии событий во времени, либо последовательные пространственные цепочки.

Для проведения исследования будут браться любые параметры, которые могут повлиять на результат. Будет определяться зависимость точности прогнозирования на разный период времени от периода выборки и параметров нейронной сети.

Чтобы избежать проблемы долговременной зависимости, в 1997 году Сеппом Хохрайтером и Юргеном Шмидхубером была предложена разновидность архитектуры рекуррентных нейронных сетей - Долгая краткосрочная память (далее LSTM, англ. Long short-term memory). Стандартная РНС добавляет память нейронной сети, но она получается короткой, т. к. на каждом шаге обучения информация в памяти смешивается с новой и через несколько итераций полностью перезаписывается.

LSTM-модули разработаны специально, чтобы избежать эту проблему, запоминая значения как на короткие, так и на длинные промежутки времени. Это объясняется тем, что LSTM-модуль не использует функцию активации внутри своих рекуррентных компонентов. Таким образом, хранимое значение не размывается во времени и градиент не исчезает при использовании метода обратного распространения ошибки во времени.

Ключевые компоненты LSTM-модуля: состояние ячейки и различные фильтры (рис. 1.). О состоянии ячейки можно говорить, как о памяти сети, которая передает соответствующую информацию по всей цепочке модулей. Таким образом, даже информация из ранних

временных шагов может быть получена на более поздних, нивелируя эффект кратковременной памяти.

Ключ к LSTM - клеточное состояние - горизонтальная линия, проходящая сквозь верхнюю часть диаграммы. Это имеет сходство с лентой конвейера. Она движется прямо вдоль всей цепи, а информация на ней подвергается небольшим линейным взаимодействиям, либо она может передвигаться без изменений. [3]

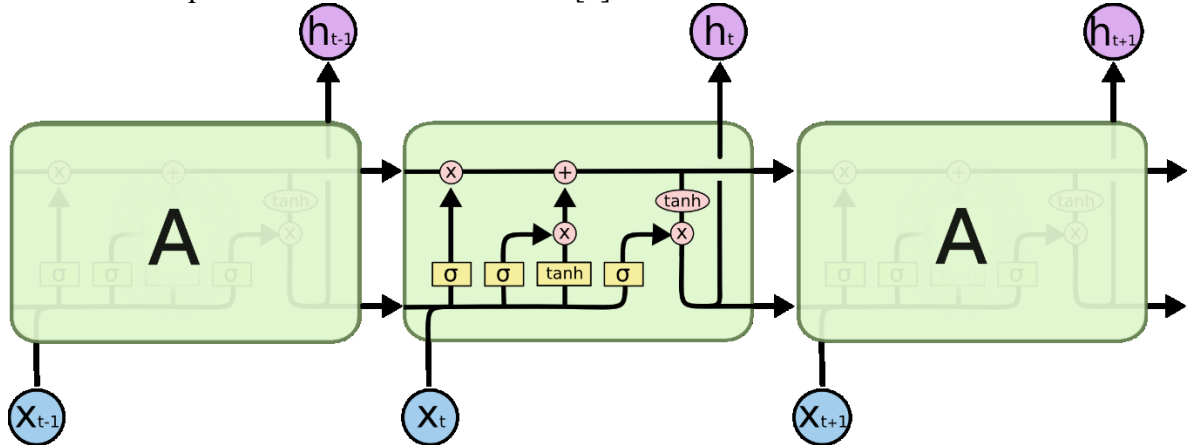


Рис. 1. Структура LSTM

LSTM имеет способность удалять или добавлять информацию к клеточному состоянию, однако эта способность тщательно регулируется структурами, называемыми вентилями (рис. 2.).

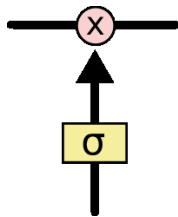


Рис. 2. Структура «вентилей»

Вентили — это способ избирательно пропускать информацию. Они составлены из «сигмоидного» слоя НС и операции поточечного умножения. Этот слой подает на выход числа между нулем и единицей, описывая таким образом, насколько каждый компонент должен быть пропущен сквозь вентиль.

*Результаты и их обсуждение.* Временным рядом называется последовательность измерений какого-либо параметра, выполненных обычно через равные промежутки времени. Для анализа и построения прогноза по стационарному временному ряду используют особые методы: модели скользящего среднего (MA-модели), модели авторегрессии (AR-модели) или смешанные модели (ARMA) или модели проинтегрированного скользящего среднего и авторегрессии (ARIMA). Отдельное направление в прогнозировании – адаптивные модели прогнозирования. Кроме того, при изучении многофакторных временных рядов для построения прогноза могут использоваться обычные регрессионные модели с приведением временных рядов к стационарному виду. На результат добычи нефти влияют много факторов, поэтому в обучении будет использоваться многофакторный временной ряд.

Прогнозирование тесно связано с планированием и используется для эффективного принятия решений. Прогнозирование может дать ответ на вопрос: что вероятнее всего ожидать в будущем относительно исследуемого процесса или что необходимо сделать, чтобы достичь заданного состояния исследуемого объекта прогнозирования.



РНС шаг за шагом обрабатывает временную последовательность данных, перебирая её элементы и сохраняя внутреннее состояние, полученное при обработке предыдущих элементов. Количество обрабатываемых данных велико, т. к. будет браться период за год и больше. Каждый параметр записывается в базу данных как минимум раз в секунду. Помимо этого, результат зависит от нескольких параметров. Предполагается, что пользователь разработки (сотрудник геологической службы производства) сам будет выбирать показатели, после чего сеть будет обучаться и выдавать результат.

Автор статьи, опубликованной на русскоязычном веб-сайте «Хабр» (созданный для публикации новостей и аналитических статей в сфере информационных технологий), «Прогнозирование временных рядов с помощью рекуррентных нейронных сетей» под псевдонимом OLZ1 [4] описал работу LSTM на примере прогнозирования погодных показателей на основе многомерного временного ряда. Для интервального прогнозирования автор использует обучающую выборку из почасовых замеров последних пяти дней, и обучает модель прогнозировать температуру на следующие 12 часов. Поскольку наблюдения регистрируются каждые 10 минут, выход модели должен состоять из 72 прогнозов. Следовательно, модель будет состоять из двух слоёв LSTM, и поскольку выполняется 72 прогноза, выходной слой насчитывает 72 нейрона. Обучение проходило по 200 шагов за эпоху вместо полных данных обучения, как это обычно делается. Это решение было принято в связи с большим размером набора данных и в целях экономии времени.

Структура обучающей выборки (рис. 3. синее выделение) и фактические данные, прогноз которых необходимо получить (рис. 3. красное выделение) представлены на рис. 3. Обучение НС проходило по принципу обучение с учителем, т. е. изменение весов при неверном результате. Результаты процесса обучения (минимизация ошибки) и работы обученной РНС (прогнозирование) представлены на рис. 4 и 5.

Index	p (mbar)	T (degC)	rho (g/m**3)
0	996.52	-8.02	1307.75
1	996.57	-8.41	1309.8
2	996.53	-8.51	1310.24
3	996.51	-8.31	1309.19
4	996.51	-8.27	1309
5	996.5	-8.05	1307.86
...	...	...	...
719	997.6	-12.63	1332.96
720	997.62	-12.78	1333.76
721	997.61	-12.93	1334.52
722	997.62	-13.06	1335.21
...	...	...	...
791	997.79	-14.52	1343.1
792	997.73	-14.46	1342.7
793	997.6	-14.08	1340.54

Рис. 3. Структура данных

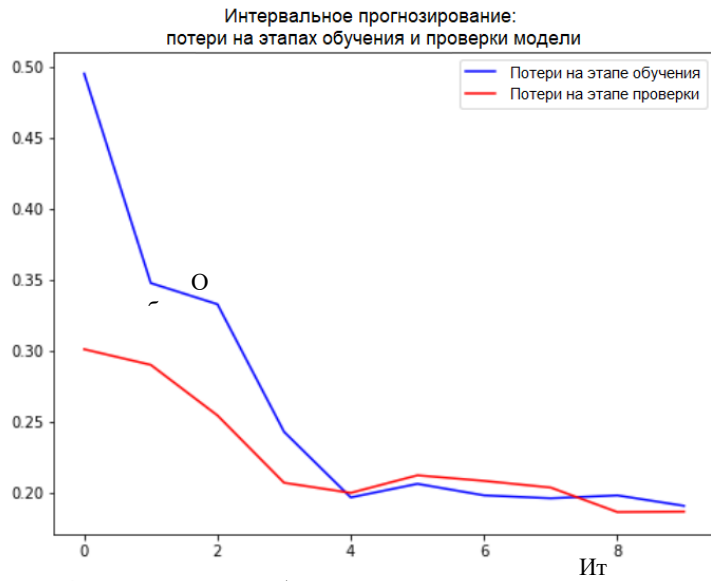


Рис. 4. Результаты обучения LSTM модели

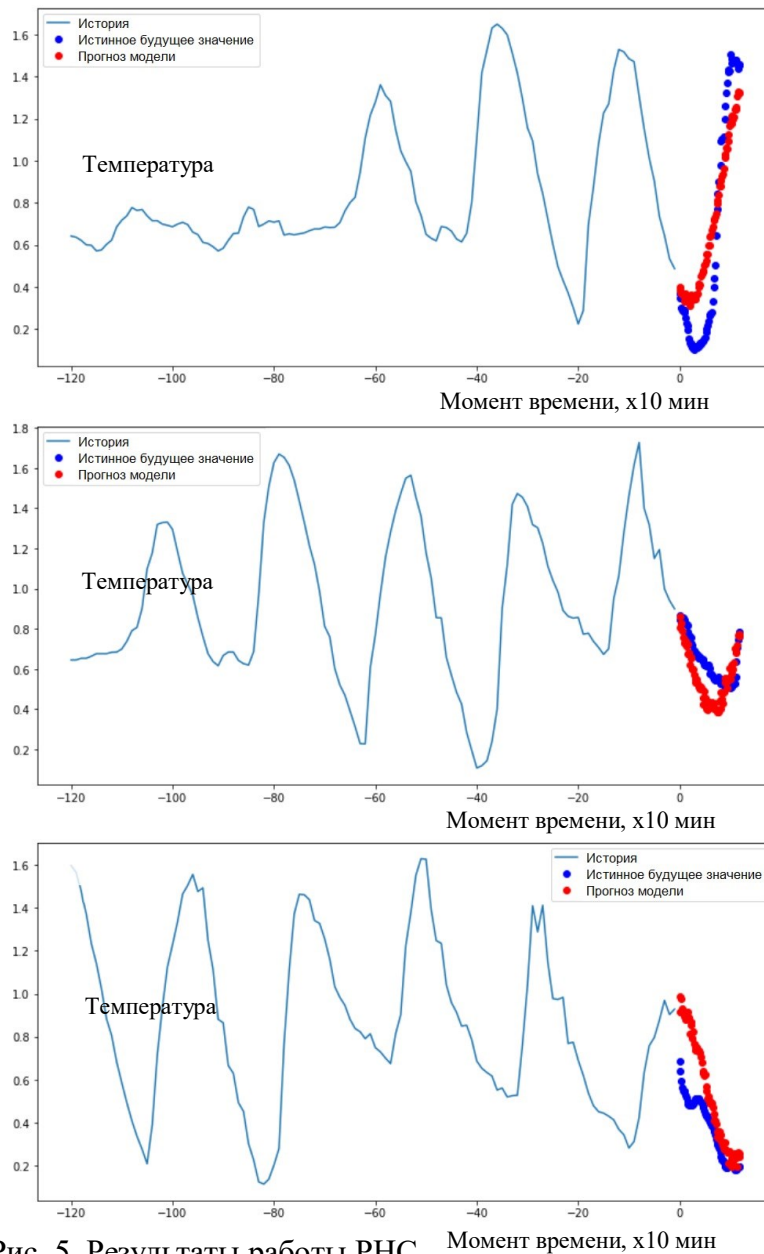


Рис. 5. Результаты работы РНС

По графикам видно, что ошибка минимальна и результат прогноза аппроксимирован к фактическим данным, что подтверждает эффективность метода решения поставленной задачи.

Авторы статьи «Прогноз показателей добычи из пластов Баженовской свиты на основе статистических зависимостей и методов машинного обучения» [5] провели исследование по похожей задаче. Удалось выяснить, что основное влияние на продуктивные характеристики скважин оказывают технологические факторы, характеризующие количественные и качественные параметры жидкостей, закачиваемых в пласт. Обнаружена корреляция между типом жидкости ГРП и величиной стимулированного объема пласта (SRV), которая влияет на показатели добычи нефти анализируемого фонда. Этот вывод поможет в осуществлении дальнейшего исследования нахождения параметров зависимости прогноза, кроме того, послужит теоретической базой для создания внедряемого на предприятии продукта.

*Заключение.* В ходе данной работы были проанализированы методы прогнозирования, виды временных рядов, была изучена работа РНС и LSTM-модели. Было принято решение о реализации данной искусственной нейронной сети. Дальнейшая работа заключается в получении доступа к конфиденциальным данным о работе скважин для проведения собственного исследования по данной теме.

В результате предполагается реализация WEB-сервиса прогноза добычи нефти. Функционал сайта предоставляет возможность выбора параметров для обучения нейронной сети, ввода управляемых параметров для прогноза добычи нефти и визуализации результатов в виде графиков и отчетов.

#### **Литература:**

1. Покрепин, Б.В. Разработка нефтяных и газовых месторождений / Б.В. Покрепин. – Министерство энергетики Российской Федерации.
2. Мурашов, Б.А. Расчет и оптимизация объектов подготовки и перекачки нефти при оценке проектов и реинжиниринге / Б.А. Мурашов, Н.Ф. Тепляков. – ПРОНЕФТЬ. Профессионально о нефти. – 2018 – № 4(10), 27.12.2018. – С. 71–74 с.
3. Colah, Understanding LSTM Networks / colah. – github.io, August 27, 2015.
4. OLZ1, Прогнозирование временных рядов с помощью рекуррентных нейронных сетей / OLZ1. – Москва, Спартаковский переулок, дом 2, строение 1, секция 3: habr.com, 6 апреля 2020.
5. Шевчук Т.Н. Прогноз показателей добычи из пластов баженовской свиты на основе статистических зависимостей и методов машинного обучения / Т.Н. Шевчук, О.Ю. Кашников. – ПРОНЕФТЬ. Профессионально о нефти. – № 4 (18), 2020. – С. 63–68 с.

УДК 004.415

## **КОНЦЕПЦИЯ ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМЫ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ И УПРАВЛЕНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННЫМИ ОПАСНЫМИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ**

*В.А Жебель, аспирант*

*Сургутский государственный университет, Сургут, Россия,  
vladzhebel@yandex.ru*

*Научный руководитель: С.У. Увайсов, д-р техн. наук, профессор каф. АСОИУ,  
зав. кафедрой РТУ МИРЭА, Москва.*

**Аннотация.** Статья посвящена системе построения защиты автоматизированных систем управления технологическими процессами на различных производствах на основе системы резервных датчиков. В подтверждение этой мысли в статье излагается статистика хакерских атак на предприятия Российской Федерации на различных уровнях. Специальное внимание в статье уделяется нижнему уровню автоматизированных систем управления технологических процессов, а именно интеллектуальным датчикам SCADA-систем и их защите от внешнего воздействия.

**Ключевые слова:** датчики, уязвимость, АСУТП, SCADA

## **THE CONCEPT OF BUILDING AN INFORMATION PROCESSING AND MANAGEMENT SYSTEM FOR AUTOMATED HAZARDOUS TECHNOLOGICAL PROCESSES**

*V.A. Zhebel, graduate student*

*Scientific supervisor: S.U. Uvaisov, Dr. Sci. sciences, professor ASOIU,  
head. Department of RTU MIREA, Moscow*

**Abstract.** The article is devoted to the system for building the protection of automated process control systems in various industries based on a system of backup sensors. In confirmation of this idea, the article presents statistics of hacker attacks on enterprises of the Russian Federation at various levels. Special attention in the article is paid to the lower level of automated process control systems, namely intelligent sensors of SCADA systems and their protection from external influences.

**Keywords:** sensors, vulnerabilities, automated control systems, SCADA

*Введение.* Процент компьютеров АСУ, на которых были заблокированы вредоносные объекты в первом полугодии 2019 года, составил 41,21%. Этот показатель совпадает с показателем за аналогичный период прошлого года. По сравнению с предыдущим полугодием наблюдается незначительный рост на 0,37 п.п., см. рис.1.

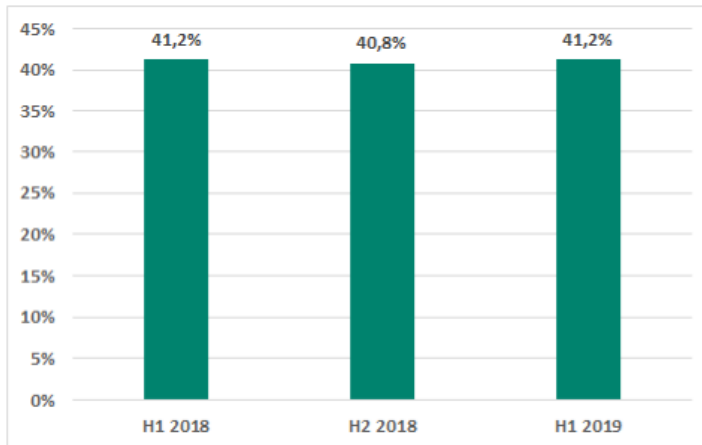


Рис.1.

Процент компьютеров АСУ, на которых были заблокированы вредоносные объекты

В эту группу входят компьютеры, работающие на операционных системах Windows и выполняющие одну или несколько функций: серверы управления и сбора данных (SCADA), серверы хранения данных (Historian), шлюзы данных (OPC), стационарные рабочие станции инженеров и операторов, мобильные рабочие станции инженеров и операторов, Human Machine Interface (HMI), компьютеры, используемые для администрирования технологических сетей; компьютеры, используемые для разработки ПО для систем промышленной автоматизации. В данной области компаниями на примере АО «ЛАБОРАТОРИЯ КАСПЕРСКОГО» проведена большая работа по защите компьютеров [1].

*Постановка задачи.* Однако, помимо защиты верхнего уровня, необходима защита и нижнего уровня. Одной из наиболее уязвимых подсистем автоматизированных систем управления технологическими процессами (SCADA-систем) является подсистема сбора и первичной обработки информации о значениях параметров технологических процессов. В качестве источников первичной информации в таких системах выступают так называемые интеллектуальные датчики [2]. Схема интеллектуального датчика изображена на рис. 2.

В настоящее время известно немало случаев атак на SCADA-системы именно через интеллектуальные датчики. Следствием таких атак являются нарушения штатного режима управления технологическим процессом, а в ряде случаев, аварии и техногенные катастрофы, приводящие к серьезным экологическому и экономическому ущербу. Так, в 2012 году в Иране остановлена атомная электростанция воздействием вируса, который воздействовал на программное обеспечение Siemens Step7.

Таким образом, проведя обследование предметной области, авторы пришли к выводу, что вопрос защиты нижнего уровня АСУТП (SCADA-систем) является актуальным и нуждается в защите от сбоев и вредоносных воздействий.

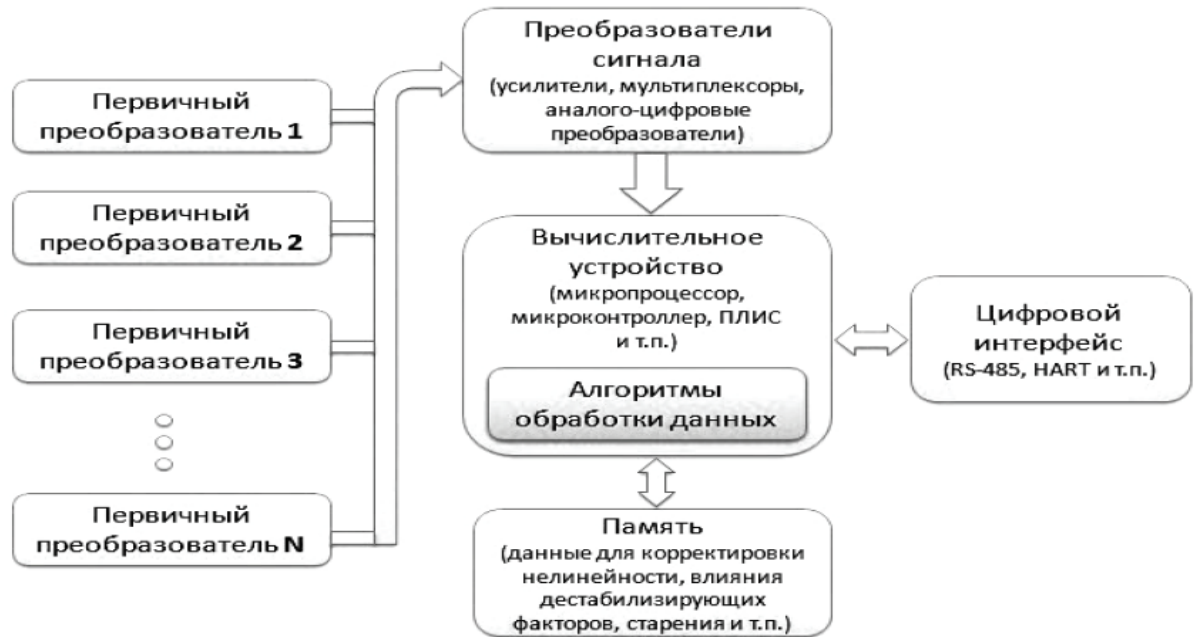


Рис. 2. Структурная схема интеллектуального датчика

Интеллектуальные датчики [3] используют различные интерфейсы подключения в управляющей системе (контроллеру), такие, как RS-485, HART, USB, 4–20 мА, IEEE-488 и промышленных сетей ProfiBus, Fieldbus, DeviceNet, Interbus, CANbus, Modbus, LIN [4].

В качестве примера можно рассмотреть уязвимости в инфраструктурах, в состав которых входят устройства, использующие протокол HART для обмена данными. Этот протокол (дистанционно управляемый измерительный преобразователь, адресуемый через магистраль) представляет собой промышленный стандарт передачи данных для интеллектуальных полевых приборов. Он был разработан в конце 1980-х компанией Rosemount, а сегодня используется в промышленных устройствах множества производителей, в том числе ABB, Endress & Hauser, Emerson, Honeywell и др., чаще всего – для подключения датчиков и удаленных систем ввода-вывода к PLC. При помощи шлюзов HART и HART-модемов управлять устройствами HART можно и с компьютера. Предназначенные для этого программные средства включают в себя HMI-системы (SCADA), OPC-серверы (OLE for Process Control) и системы PAS (Plant Asset management Software). HART является типичным протоколом со схемой передачи данных типа «управляющий – управляемый» (master – slave), когда PLC или компьютер отправляют некоторую команду датчику либо системе ввода-вывода, а тот, в свою очередь, присылает ответ.

В основном его применяют для настройки удаленных устройств, а также для считывания их состояния. HART может использовать различные физические среды, но самая популярная из них – токовая петля (4–20 мА). Скорость передачи по ней составляет 1200 бод, при этом цифровой сигнал может накладываться на аналоговую составляющую. В токовой петле за сигнал отвечает не напряжение, а ток, поэтому она более устойчива к помехам, так что длина линий HART может составлять до 3 км. Данные свойства, а также способность HART работать во взрывоопасных зонах (классов 0, 1 и 2) позволяют использовать HART-устройства на объектах критической важности, таких как электростанции, химические заводы, нефтегазовые платформы и др. Типичные места применения RTU, использующих HART – это зоны повышенной опасности. Кроме того, благодаря высокой дальности действия устройства, HART можно размещать за территорией предприятия, например, для контроля утечек и экологической обстановки на электростанциях и химических заводах, на трубопроводах, подстанциях и магистралях в нефтегазовой промышленности, на электростанциях и в других местах, где датчик должен находиться на определенном расстоянии от контроллера или HMI.

Тем не менее, из-за использования токовой петли в качестве среды передачи данных протокол HART уязвим к различного рода атакам.

Во-первых, злоумышленник может, подключившись к линии HART с помощью устройства с высоким импедансом, незаметно прослушивать линию, получая таким образом информацию об инфраструктуре.

Во-вторых, он может перенастроить какой-либо датчик или подделать его. Например, если атакующий изменит адрес Polling ID датчика на новый, а потом ответит управляющему устройству со старым Polling ID, то PLC или компьютер будут считать, что работают с реальным датчиком, в то время как на самом деле это датчик поддельный, имитируемый злоумышленником. Возможность подделки данных от датчиков является собой реальную угрозу безопасности АСУ ТП. Но это далеко не весь спектр проблем, который может возникнуть из-за слабой защиты линий HART.

Современные программные средства, работающие с HART, например, OPC-серверы и PAS-системы, обладают возможностью глубокой интеграции с другими элементами инфраструктуры, в том числе с системами MES (Machine Execution System) и ERP (Enterprise Resource Planning). Эта интеграция может проходить через PAS-системы, которые взаимодействуют с устройствами на базе HART при помощи спецификации FDT/DTM.

Технология FDT/DTM создана FDT Group, чтобы упростить разработку систем PAS и работу с полевыми устройствами. В основе технологии лежат COM-контейнеры и COM-объекты, взаимодействующие между собой посредством XML-сообщений. Иными словами, данные, полученные от полевых датчиков, упаковываются в XML-сообщения и передаются в PAS-систему, откуда они могут быть переданы на более высокие уровни – в MES или ERP. Если в компоненте, работающем с датчиком, недостаточно корректно реализована (или вообще отсутствует) фильтрация входных данных, то злоумышленник может, изменив конфигурацию или подделав датчик, вызвать инъекцию XML-кода внутри PAS-системы. Это чревато серьезными последствиями, поскольку в таком случае злоумышленник проникает на верхние уровни иерархии АСУ ТП, даже если они отделены от нижних при помощи МСЭ. Инъекция кода XML может привести к атакам отказа в доступе, чтению произвольных файлов, атаке на механизмы аутентификации и даже к выполнению произвольного кода в системе. Всё это, в худшем случае, может спровоцировать полную компрометацию инфраструктуры как на нижних, так и на верхних уровнях [5].

*Решение проблемы.* Для защиты интеллектуальных датчиков предлагается внедрить концепцию построения дублирующей системы управления АСУ ТП, которая будет состоять из: интеллектуального (Smart-умного) датчика и грубого дешевого датчика, который будет выполнять функцию контролера умного датчика. Показания с интеллектуального датчика поступают на схему управления, где они сравниваются с обработанными показаниями грубого датчика. Показания с грубого датчика, например, терморезистора поступают на схему обработки параметра, где она минимально оптимизируется в зависимости от параметра (быстро изменяющийся показатель или относительно медленно изменяющийся показатель) и далее поступает на управляющую схему, где она сравнивается с показаниями интеллектуального датчика. Во время сравнения грубый датчик является, проверочным датчиком, который сверяет показания интеллектуального датчика на предмет достоверности.

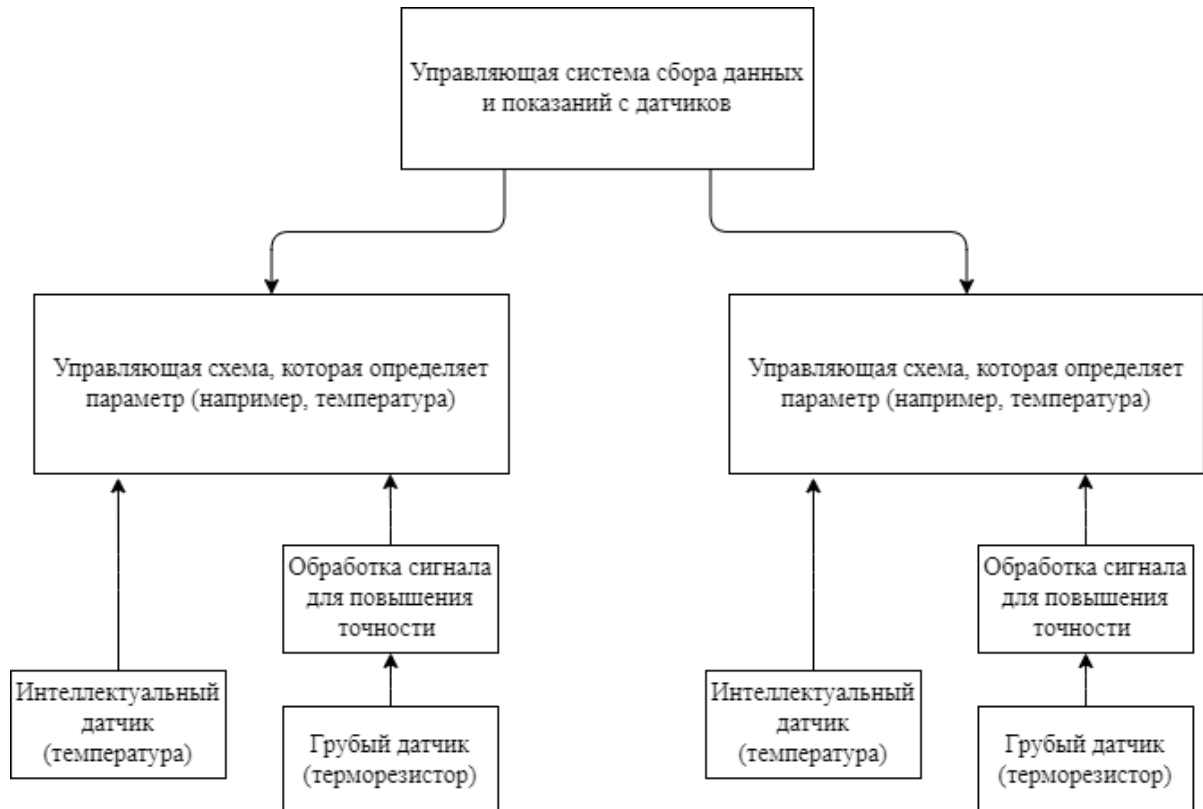


Рис.3.

Структурная базовая схема построения дублирующей системы построения АСУТП

*Выводы:* Предлагаемая концепция построения автоматизированных систем управления технологическими процессами, использующих в качестве источников информации о параметрах управляемого процесса интеллектуальные датчики, является новой и не имеющей аналогов. Она направлена на повышение защищенности АСУТП от внешних угроз на самом нижнем, сенсорном уровне сбора и предварительной обработки информации. Использование данного подхода позволит практически исключить возможность злонамеренного выведения техпроцесса в область опасных режимов, что чрезвычайно актуально в настоящее время.

Исследование продолжается, планируется провести часть экспериментов на практике по воздействию на интеллектуальные датчики. Планируется также апробировать метод на практике и принять участие в других конференциях.

#### Литература:

1. Ландшафт угроз для систем промышленной автоматизации. Первое полугодие 2019. [Электронный ресурс]. Режим доступа: [https:// ics-cert.kaspersky.ru/reports/2019/09/30/threat-landscape-for-industrial-automation-systems-h1-2019.html](https://ics-cert.kaspersky.ru/reports/2019/09/30/threat-landscape-for-industrial-automation-systems-h1-2019.html) (дата обращения: 27.11.2021).
2. ГОСТ Р ГСИ 8.673–2009. ГСИ. Датчики интеллектуальные и системы измерительные интеллектуальные. Термины и определения
3. IEEE 1451. Smart Transducer Interface Standards. [Электрон. ресурс] <http://ieee1451.nist.gov> (дата обращения 24.05.2012).
4. Васильев В.А., Чернов П.С. Интеллектуальные датчики, их сети и информационные системы Пензенский государственный университет, 2012. С. 119–122
5. Плешко Д.Ю. «Уязвимости низкоуровневых протоколов как инструмент для атаки на АСУ ТП» Актуальные проблемы энергетики, СНТК-74. С. 730–733.



УДК 519.24

## СТАТИСТИЧЕСКАЯ И ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ ОБРАБОТКА ДАННЫХ О НЕСАНКЦИОНИРОВАННЫХ АКТИВНОСТЯХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ

*В.А. Мухаметчина, магистрант*

*Сургутский государственный университет, Сургут, Россия,  
mukhametchina\_va@edu.surgu.ru*

*Научный руководитель: К.И. Бушмелева, д-р техн. наук, профессор каф. АСОИУ*

**Аннотация.** В данной статье была описана актуальность применения методов статистической и интеллектуальной обработки данных при анализе активности вычислительной техники для выявления несанкционированной активности. Предметом исследования являются методы статистической и интеллектуальной обработки данных, а также пилотная версия информационной системы. В данной работе были рассмотрены некоторые методы статистической и интеллектуальной обработки данных. В результате разработаны шаблоны файлов для дальнейшей обработки некоторых данных и написана программа, выполняющая подготовку некоторых данных для дальнейшей обработки.

**Ключевые слова:** несанкционированная активность, описательная статистика, нейронные сети, деревья решений, вычислительная система

## STATISTICAL AND INTELLECTUAL PROCESSING OF DATA ON UNAUTHORIZED ACTIVITIES OF COMPUTER TECHNOLOGY

*Mukhametchina V. A., undergraduate, Surgut State University, Russia, Surgut,  
mukhametchina\_va@edu.surgu.ru*

*Scientific adviser: K.I. Bushmeleva, Dr. Sc. sciences, professor ASOIU*

**Abstract.** This article described the relevance of using statistical and intellectual data processing methods in the analysis of computer technology activity to detect unauthorized activity. The subject of the study is the methods of statistical and intellectual data processing, as well as the pilot version of the information system. In this paper, some methods of statistical and intellectual data processing were considered. As a result, file templates have been developed for further processing of some data and a program has been written that prepares some data for further processing.

**Keywords:** unauthorized activity, descriptive statistics, neural networks, decision trees, computing system

*Введение.* Проблема защиты информации остается актуальной на протяжении долгого времени, и вряд ли потеряет свою актуальность когда-либо, учитывая степень внедрения информационных технологий и вычислительных систем в современном обществе. Соответственно, чем больше развиваются информационные технологии, тем больше новых методов и средств для ее похищения придумывают злоумышленники. А это, в свою очередь повышает необходимость разработки новых методов защиты.

Помимо прямых атак вирусов, бактерий, червей и т.д., существуют атаки с целью хищения информации, сохраняя при этом работоспособность вычислительной техники. Эта

проблема особенно актуальна, учитывая, что на многих производствах используют «умные» датчики, способные передавать информацию по сети Интернет.

*Цель исследования* заключается в разработке пилотной версии информационной системы для обнаружения несанкционированной активности вычислительной техники, которая будет основана на методах статистической и интеллектуальной обработки данных.

Для достижения цели должны быть решены следующие *задачи*:

1. Подбор статистических и интеллектуальных методов обработки данных о несанкционированной активности в вычислительной технике.

2. Сбор и обработка данных о несанкционированной активности вычислительной техники.

3. Создание моделей обнаружения несанкционированной активности вычислительной техники.

4. Проверка адекватности моделей обнаружения несанкционированной активности вычислительной техники.

5. Создание пилотной версии программного обеспечения по обнаружению несанкционированной активности ВТ.

Проблема исследования заключается в том, что, с одной стороны, на данный момент нет актуальных методов и средств защиты от несанкционированной активности вычислительной техники, а, с другой стороны, существует необходимость выявления такой активности.

Объектом исследования является процесс сбора и анализа данных об активности ЭВМ.

Предметом исследования являются методы статистической и интеллектуальной обработки данных, а также пилотная версия информационной системы, использующей данные методы.

Интеллектуальный анализ, или Data Mining направлен на выявление скрытых закономерностей в данных, например, повторяющихся шаблонов или кластеров. Иначе говоря, на его основе можно получить модели, позволяющие лучше понимать данные и предсказывать их поведение [1].

Структура методов интеллектуального анализа состоит из двух частей:

– статистические методы (корреляционный, регрессионный, факторный, дисперсионный, дискриминантный анализ и анализ временных рядов, и др.);

– кибернетические методы (искусственные нейросети, метод опорных векторов, эволюционное программирование, генетические алгоритмы, деревья решений, системы обработки экспертных знаний и др.) [1, с. 19].

Поскольку исследования будут проводиться над статистическими параметрами активности технических компонентов вычислительной машины, то здесь будет необходимо найти взаимосвязь между этими параметрами. Для этого существует несколько методов. Например, корреляция, являющаяся метрикой, которая измеряет степень, с которой числовые переменные связаны друг с другом (в диапазоне от -1 до +1) [2]. На основе полученной корреляционной матрицы, а также других методов, можно выполнить интеллектуальный анализ с помощью нейросети. Исследования в области искусственного интеллекта направлены на изучение свойств и закономерностей поведения объектов.

Реализуя интеллектуальные системы, можно понять то, каким образом одни интеллектуальные системы, подобные человеческому мозгу, способны справляться с созданием других [4].

Использование статистических методов и нейронной сети в архитектуре системы мониторинга несанкционированной активности в вычислительных системах сильно облегчит написание кода ИС, а сочетание полученной системы и классических средств обеспечения информационной безопасности позволит повысить эффективность защиты от несанкционированной активности ВС пользователей и организаций [4, с.24].

*Материалы и методы.*

Несанкционированный доступ (несанкционированные действия) – доступ к информации или действия с информацией, осуществляемые с нарушением установленных прав и (или) правил доступа к информации или действий с ней с применением штатных средств информационной системы или средств, аналогичных им по своим функциональному назначению и техническим характеристикам [5].

Несанкционированная активность может быть, как на программном уровне, так и на аппаратном.

На программном уровне такая активность может быть вызвана вредоносным программным обеспечением разных видов. На данный момент, на этом уровне, существуют такие средства защиты вычислительной техники, как антивирусные средства, алгоритмы шифрования и т.п., которые осуществляют поиск определенных видов вредоносных программ. Однако, в связи с появлением новых методов и средств для взлома вычислительных систем, эти средства защиты не могут гарантировать обеспечение полной защиты.

В связи с повышением использования подключения аппаратной части автоматизированных вычислительных систем к сети интернет, большой интерес представляют методы защиты и борьбы с несанкционированной активностью именно на аппаратном уровне. Поскольку на данный момент существует крайне мало средств и методов для мониторинга несанкционированной активности на аппаратном уровне. Есть лишь малочисленные, узконаправленные разработки, либо это разработки внутри больших компаний. Примерами такой активности на аппаратном уровне могут быть датчики на технологическом оборудовании, которые могут быть оснащены встроенным программным обеспечением, которое может через подключение к сети Интернет передавать получаемую информацию на сторонние серверы. Или же, например, аппаратные уязвимости в процессорах некоторых ведущих производителей могут выполнять сторонний код, поскольку только производитель имеет принципиальную схему устройства и никто, кроме производителя, не может знать полный перечень функционала устройства и установленного программного обеспечения [4, с.12].

Поэтому существует необходимость в разработке новых методов и средств повышения защиты вычислительной техники. Как один из вариантов, для создания информационной системы, осуществляющей мониторинг вычислительной техники по аппаратно-программным параметрам, можно использовать методы статистического и интеллектуального анализа данных.

По части статистического анализа подходят следующие методы:

1. Описательная статистика.
2. Критерий хи-квадрат.
3. Правило трех сигм.
4. Критерий Стьюдента.
5. Регрессионный анализ.
6. Корреляционный анализ.

Они помогут выяснить взаимосвязь параметров, нормальность распределения, проверить достоверность различий между величинами. Здесь важно выяснить влияние параметров друг на друга, а также их взаимосвязь.

Статистические методы анализа данных применяются практически во всех областях деятельности человека. Их используют всегда, когда необходимо получить и обосновать какие-либо суждения о группе (объектов или субъектов) с некоторой внутренней неоднородностью.

Методы интеллектуального анализа или извлечения данных (Data Mining) включают в себя поиск закономерностей и зависимостей между данными с целью поиска шаблонов. Поскольку основными задачами интеллектуального анализа являются классификация, кластеризация, оценка, прогнозирование, определение ассоциативных правил и визуализация

данных, то этот вид анализа подходит для задачи определения несанкционированной активности. Для этого хорошо подходят искусственные нейронные сети и деревья решений.

Искусственные нейронные сети способны менять свое поведение в зависимости от внешней среды. После предъявления входных сигналов (возможно, вместе с требуемыми выходами) они самонастраиваются, чтобы обеспечивать требуемую реакцию [3].

Древесная модель – это набор правил формы «если-то-иначе», которые легко понять и имплементировать (реализовать). В отличие от линейной и логистической регрессии, деревья имеют способность обнаруживать скрытые регулярности (шаблоны, паттерны), соответствующие сложным взаимодействиям данных. Вместе с тем, в отличие от классификатора на основе  $k$  ближайших соседей либо наивного байесова классификатора, простые древесные модели могут быть выражены с точки зрения связей между предсказателями, и эти связи легко поддаются интерпретации [2, с.15].

Информационная система, построенная на основе вышеперечисленных методов, должна осуществлять непрерывный мониторинг параметров работы вычислительной техники. Среди таких параметров можно выделить температуру процессора, его загруженность, энергопотребление, время работы процессора, загруженность оперативной памяти и пр. Результат анализа должен повлиять на принимаемое решение о наличии либо отсутствии несанкционированной активности, а также на выбор типа воздействия на такую активность. Принимать решение об использовании того или иного типа воздействия будет пользователь.

*Результаты и их обсуждение.* На момент написания этой статьи разработаны файлы-шаблоны MS Excel для статистической обработки показателей таких параметров, как температура процессора, загруженность процессора и оперативной памяти. Данные поступают из сторонней системы мониторинга в формате «.csv». Такой формат выбран из-за его универсальности применения, быстроедействие и популярности. В среднем, выборка составляет около 1,5 тысяч записей, которые записаны в течение одних суток. Этот промежуток времени делится по 8 часов.

Выполняется вычисление таких параметров статистического анализа как среднее, стандартное отклонение, дисперсия, минимальное и максимальное значение, количество вхождений в интервалы трех сигм. Последний параметр необходим для проверки выборки на нормальность, поскольку вычисление некоторых других параметров статистики, например, критерия Стьюдента, возможно только при условии, что данные подчиняются нормальному распределению. Помимо этого, для более удобного визуального восприятия предусмотрено создание графиков, на которых можно увидеть, как менялись значения параметров активности в тот или иной период времени.

Для подготовки данных написана программа, выполняющая подсчет количества потоков по всем процессам за обозначенный период времени. В дальнейшем эти данные обрабатываются аналогично вышеописанным. Этот параметр позволит определить какие из процессов вызвали те или иные скачки параметров аппаратной части.

Прежде всего, для исследования представляют интерес аномальное соотношение параметров. Например, высокая температура процессора при низкой загруженности оперативной памяти вызывает много вопросов.

В качестве последующей разработки искусственной нейронной сети выбран язык программирования Python. Поскольку он является кроссплатформенным, имеет широкий спектр применения, обладает достаточно высокой востребованностью на рынке труда, а также на этом языке написаны библиотеки, предназначенные для работы с нейронными сетями.

*Заключение.* В данной статье была сформулирована цель и поставлены задачи для достижения цели. Обоснована актуальность темы исследования, обозначена проблематика, предмет и объект исследования. Описаны методы и средства статистического и интеллектуального анализа, подходящие для определения несанкционированной активности вычислительной техники, а также описано текущее состояние разработки.

Разрабатываемая система обладает достаточно большим потенциалом за счет эффективной комбинации существующих и хорошо известных методов и средств, которые можно, при необходимости, адаптировать под большинство вычислительных систем. Такая система может дополнить классические средства защиты вычислительных систем, чем повысит эффективность обнаружения случаев атак.

В дальнейшем текущие разработки будут дополнены другими методами статистического и интеллектуального анализа.

#### **Литература:**

1. Никифорова Н.А., Донцова Л.В., Донцов Е.В. Интеллектуальный анализ данных в моделировании финансового состояния предприятий // Финансовый журнал. – 2011. – Изд. 2 (8). – С. 5–18.
2. Практическая статистика для специалистов Data Science: Пер. с англ. / П. Брюс, Э. Брюс, П. Гедек. – 2-е изд., перераб. и доп. – СПб.: БХВ-Петербург, 2021. – 352 с.: ил.
3. Искусственный интеллект с примерами на Python: Пер. с англ. - СПб.: ООО "Диалектика", 2019. – 448 с.
4. Гавриленко Т.В., Никифоров А.В. Методы косвенного мониторинга несанкционированной активности в вычислительных системах // Вопросы технических и физико-математических наук в свете современных исследований. – 2020. – Том. 3-4 (20). – С. 38-45.
5. Базовая модель угроз безопасности персональных данных при их обработке в информационных системах персональных данных [Электронный ресурс]: сайт российского государственного педагогического университета им. А. И. Герцена. 2008. URL: <https://www.herzen.spb.ru/uploads/apolushin/files/modugr.pdf> (дата обращения: 25.02.2022).

УДК 004.415

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕХНИКИ НЕСПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ НА ГРАФИЧЕСКОМ ПРОЦЕССОРЕ В ГРАФИЧЕСКОМ ДВИЖКЕ UNREAL ENGINE 4

*Э.М. Камилев, erkimkamilov@gmail.com, Т.В. Гавриленко*  
*Сургутский государственный университет, Сургут, Россия*  
*Сургутский филиал Федерального государственного учреждения*  
*«Федеральный научный центр Научно-исследовательский институт*  
*системных исследований Российской академии наук», Сургут, Россия*  
*Научный руководитель: Т.В. Гавриленко Тарас, к.т.н., доцент каф. АСОИУ*

**Аннотация.** В статье рассмотрено использование техники GPGPU для интерактивной визуализации в задачах вычислительной гидродинамики. Рассмотрена архитектура графического движка Unreal Engine и особенности реализации решателя на основе вычислительного шейдера и программно-аппаратной архитектуры CUDA.

**Ключевые слова:** CUDA, вычислительный шейдер, графический процессор, параллельные вычисления, вычислительная гидродинамика, Unreal Engine

## USING THE TECHNIQUE OF GENERAL-PURPOSE COMPUTING ON GRAPHICS PROCESSING UNITS IN THE UNREAL ENGINE 4 GRAPHICS ENGINE

*E.M. Kamilov, erkimkamilov@gmail.com, T.V. Gavrilenko*  
*Surgut State University, Surgut, Russia;*  
*Surgut Branch of Federal State Institute «Scientific Research Institute*  
*for System Analysis of the Russian Academy of Sciences», Surgut, Russia*  
*Scientific adviser: T.V. Gavrilenko, candidate of technical sciences,*  
*associate professor of the department, ASOIU*

**Abstract.** The article considers the use of the GPGPU technique for interactive visualization in computational fluid dynamics problems. The architecture of the Unreal Engine graphics engine and the implementation features of the solver based on the computational shader and the CUDA hardware and software architecture were considered.

**Keywords:** CUDA, compute shader, graphics processor, parallel computing, computational fluid dynamics, Unreal Engine

*Введение.* В связи с потребностью в параллельных вычислениях, особенно в задачах математического моделирования, разработчики программного обеспечения часто прибегают к неспециализированным вычислениям на графических процессорах (General-purpose computing on graphics processing units, GPGPU). Возможность программирования пиксельных и вершинных шейдеров в 2000-х дало сильный толчок развитию техники GPGPU. Со временем среди других стадий появился отдельный тип вычислительных шейдеров, а также появились программные библиотеки, предоставляющие доступ к ресурсам графического ускорителя без использования громоздких программных конструкций графических библиотек.

Типичные решения, использующие технику GPGPU, производят определенное (большое) количество итераций решателя на графическом ускорителе, прежде чем данные будут отправлены на хост (ЦП) для дальнейшего анализа [1]. Однако, при необходимости интерактивной визуализации, возникает ситуация, при которой решатель передает данные по шине программе-визуализатору на хосте при каждой итерации визуализации. Пропускная способность шин (PCI Express, NVLink), соединяющих ЦП с графическим адаптером, на порядок ниже пропускной способности оперативной памяти графического процессора (ГП), поэтому очевидным решением будет хранение данных в оперативной памяти ГП без передачи данных в оперативную память ЦП: визуализатору будет предоставляться указатель в памяти ГП с выходными данными решателя.

В текущей работе будет рассмотрена программная архитектура графического движка Unreal Engine и будут рассмотрены две реализации модели однофазной жидкости методом решеточных уравнений Больцмана с использованием графического движка Unreal Engine 4: с использованием вычислительных шейдеров и с использованием программно-аппаратной архитектуры NVIDIA Compute Unified Device Architecture (CUDA). Подробное описание метода решеточных уравнений Больцмана можно найти в [2]. Решатель состоит из функций (ядер), выполняемых на ГП, использующих массивы данных, таких как: дискретная решетка D3Q19, поле скоростей, плотность и другие гидродинамические параметры. Визуализатор, в свою очередь, использует указатели на память, хранящую поле скоростей и плотность.

Программная архитектура Unreal Engine 4.

Графические движки являются высокоуровневой абстракцией над программными интерфейсами (API) визуализации, такими как Direct3D, OpenGL, Vulkan, Metal и пр. Для достижения кроссплатформенности многие популярные графические движки поддерживают несколько различных API визуализации и различные их версии, переключаться между которыми можно перед сборкой проекта.

Для достижения высокой абстракции от API визуализации, графические движки используют программные слои. На рис. 1 представлена схема взаимодействия между слоями архитектуры движка Unreal Engine.



Рис. 1. Взаимодействие слоев программной архитектуры Unreal Engine 4

Эта архитектура включает в себя 3 основных слоя [3; **Ошибка! Источник ссылки не найден.**]:

Game – слой логики приложения, полностью выполняется на центральном процессоре. Здесь задаются параметры трансформаций объектов сцены.

Renderer – слой отрисовки приложения, который выполняется в параллельном потоке относительно предыдущего слоя с отставанием на 1-2 кадра. Этот слой получает команды из слоя Game, подготавливает данные, производит окклюзии объектов сцены и вызывает функции API визуализации через следующий слой.

RHI (Rendering Hardware Interface) – слой абстракции API визуализации, инкапсулирующий вызовы графических функций. Также выполняется в отдельном потоке с отставанием в 1-2 кадра.

Поскольку существуют два отдельных потока для слоев Game и Renderer, то классы в программной архитектуре Unreal Engine, представленные в первом слое, имеют своего «двойника» во втором слое. Каждое из представлений реализует функции, специфичные для того слоя, в котором он представлен. Взаимодействие между слоями Game и Renderer осуществляется вызовом из потока Game макроса «ENQUEUE\_RENDER\_COMMAND» с передачей функции в качестве параметра, которая в следующих кадрах будет выполнена в

потоке `Renderer`.

Программная архитектура `Unreal Engine` представлена множеством модулей, сборка которых осуществляется встроенным средством `UnrealBuildTool`. Конфигурационный файл разрабатываемого модуля содержит скрипт на языке `C#`, который выполняется при каждой сборке проекта.

Разработка с использованием вычислительного шейдера в `Unreal Engine 4`: вычислительный шейдер представляет собой отдельную стадию графического конвейера (рис. 2), используемую для алгоритмов отложенного рендеринга, а также для GPGPU-вычислений.

Стадии графического конвейера доступны через модуль «`RenderCore`». При использовании модуля «`RenderCore`» необходимо, чтобы переменной «`LoadingPhase`» разрабатываемого проекта/плагины было присвоено значение «`PostConfigInit`» [5].

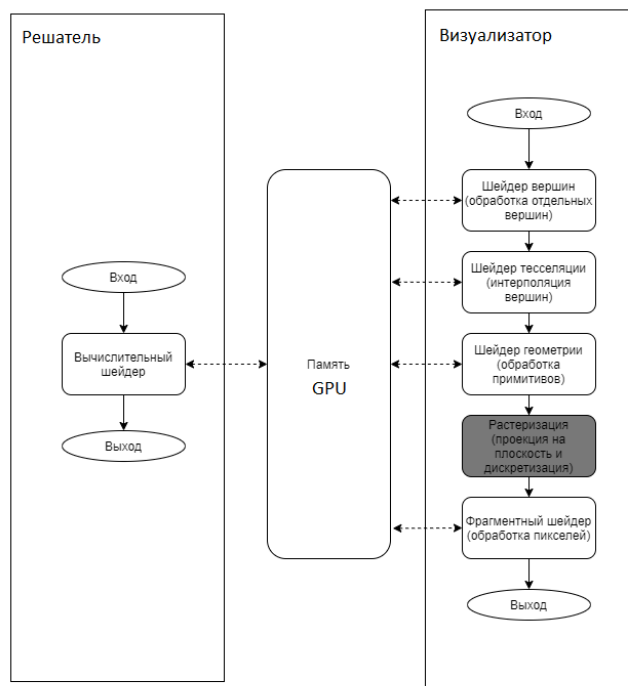


Рис. 2. Стадии графического конвейера

При использовании шейдера в `Unreal Engine` вычислительное ядро алгоритма описывается в отдельном файле с использованием синтаксиса `HLSL`. Переменные, получаемые от `CPU`, объявляются в глобальной области видимости файла с шейдером. В слое `Renderer` описывается вычислительный шейдер через класс, наследуемый от `FGlobalShader`, с описанием переменных шейдера. После определения шейдера его необходимо зарегистрировать вызовом макроса «`IMPLEMENT_GLOBAL_SHADER`». Таким образом в `Unreal Engine 4` производится соответствие кода `HLSL` с объявлением класса шейдера в `C++`. [3]

Для минимизации нагрузки на шину данных визуализатор и решатель должны работать с общими данными. Конкретно для нашего алгоритма, визуализатор и решатель вместе разделяют указатель на текстуру, хранящую в себе поле скоростей.

Для профилировки шейдерных программ можно использовать инструменты профилировки производительности, встроенные в `Unreal Editor`. Для отладки шейдерных программ необходимо воспользоваться сторонним графическим отладчиком `RenderDoc`.

Разработка с использованием `CUDA`: для разработки с использованием `CUDA` необходимо подключить необходимые статические библиотеки и файлы заголовков в проект.



Сборка проекта в Unreal Engine 4 с использованием внешних библиотек происходит через UnrealBuildTool. Для включения статических библиотек, необходимо добавить в скрипт сборки путь к файлам заголовка и статической библиотеке CUDA («`cuda_static.lib`») [**Ошибка! Источник ссылки не найден.**].

Взаимодействие между CUDA и графическими API осуществляется с использованием программных функций CUDA: графический API (Direct3D, OpenGL или Vulkan) инициализирует ресурс в оперативной памяти ГП и передает указатель в CUDA, который, в свою очередь, сопоставляет графический ресурс со своими типами (`cudaArray`, `device pointer`) [7].

Вызов ядер CUDA, использующих разделяемую с визуализатором память, необходимо выполнять в потоке `Renderer` во избежание состояния гонки между потоками.

*Заключение.* Была разработана программа, объединяющая GPGPU-решатель гидродинамики и интерактивную визуализацию. При разработке были рассмотрены два подхода: использование вычислительных шейдеров и использование программно-аппаратной архитектуры CUDA.

При использовании вычислительных шейдеров были выявлены следующие недостатки:

- зависимость от графического конвейера и графического API;
- ограниченность в размерах буферов ресурсов, передаваемых в шейдер (это вытекает из зависимости от графического API);
- необходимость изучения исходного кода Unreal Engine в отсутствие полной документации;
- риски изменений исходного кода разработчиками графического движка при выпуске новых версий;
- ограниченные возможности профилирования и отладки кода.

Основным недостатком при использовании архитектуры CUDA является зависимость от аппаратного обеспечения.

### **Литература:**

1. A. R. G. Harwood, A. Revell. Parallelisation of an interactive lattice-Boltzmann method on an Android-powered mobile device // *Advances in Engineering Software*. 2017. 104: 38–50.
2. T. Krüger, H. Kusumaatmaja, A. Kuzmin, O. Shardt, G. Silva, E. M. Viggén. *The Lattice Boltzmann Method. Principles and Practice: Graduate Texts in Physics – Switzerland: Springer*. 2017. 694 с. ISBN 978-3-319-44647-9.
3. Unreal Engine 4 Documentation. URL: <https://docs.unrealengine.com/4.27/> (дата обращения: 20.03.2022).
4. Real time rendering and Unreal Engine 4. URL: <https://blog.zuru.tech/graphics/2020/04/23/renderinginue4> (дата обращения: 20.03.2022).
5. Using Compute Shaders in Unreal Engine 4 URL: <https://medium.com/realities-io/using-compute-shaders-in-unreal-engine-4-f64bac65a907> (дата обращения: 20.03.2022).
6. Использование функций CUDA в Unreal Engine 4. URL: [https://www.sciement.com/tech-blog/c/cuda\\_in\\_ue4/](https://www.sciement.com/tech-blog/c/cuda_in_ue4/) (дата обращения: 20.03.2022).
7. CUDA C++ Programming Guide. URL: <https://docs.nvidia.com/cuda/cuda-c-programming-guide/index.html> (дата обращения: 20.03.2022).

УДК 622.691.482

## АНАЛИЗ МЕТОДОВ И СРЕДСТВ ОБНАРУЖЕНИЯ УТЕЧЕК МЕТАНА ИЗ МАГИСТРАЛЬНЫХ ГАЗОПРОВОДОВ

*Л.Л. Семенова, аспирант, Сургутский государственный университет,  
Сургут, Россия, semenova\_ll@surgu.ru*  
Научный руководитель: *С.У. Увайсов, д-р техн. наук, профессор каф. АСОИУ,  
зав. кафедрой РТУ МИРЭА, Москва*

**Аннотация.** В статье рассмотрены методы и средства обнаружения утечек метана из магистральных газопроводов, проведен сравнительный анализ существующих систем. В статье рассмотрены следующие способы контроля утечек газа в газопроводе: по профилю давления, объемно-балансовый, метод акустической эмиссии, метод переменного перепада давления, ультразвуковой метод. Результаты применения всех рассматриваемых методов зависят от параметров окружающей среды: плотности, давления и температуры. Поэтому, основной задачей предлагаемых методов является достижение независимости результатов измерений от изменения параметров окружающей среды.

**Ключевые слова:** Мониторинг газопроводов, методы обнаружения утечек, системы обнаружения утечек, методы мониторинга, локализация утечек

## ANALYSIS OF METHODS AND MEANS OF DETECTING METHANE LEAKS ON MAIN GAS PIPELINES

*L.L. Semenova, graduate student  
Surgut State University, Surgut, Russia*  
Supervisor: *S.U. Uvaisov, Dr. Sci. sciences, professor ASOIU,  
head. Department of RTU MIREA, Moscow*

**Abstract.** The article discusses methods and means of detecting methane leaks from main gas pipelines, a comparative analysis of existing systems is carried out. The article discusses the following methods for monitoring gas leaks in a gas pipeline: pressure profile, volume-balance, acoustic emission method, variable pressure drop method, ultrasonic method. The results of the application of all the considered methods depend on the environmental parameters: density, pressure and temperature. Therefore, the main task of the proposed methods is to achieve the independence of measurement results from changes in environmental parameters

**Keywords:** Monitoring of gas pipelines, leak detection methods, leak detection systems, monitoring methods, leak localization

*Введение.* Газотранспортная сеть России является одной из самых протяженных, ее длина составляет более 170 тыс. км [1]. Большая часть магистральных сетей, порядка 68%, имеют срок эксплуатации более 20 лет, т.е являются устаревшими, что является основной причиной утечек. Утечка – это нарушение герметичности магистрального трубопровода, сопровождающееся истечением из него продукта. Согласно исследованиям ООО «Газпром ВНИИГАЗ», среднее значение утечек по ПАО «Газпром» составляет 0,3 м<sup>3</sup>/ч на 1 км трубопровода. Следовательно, для участка газопровода длиной 200 км потери составят 60 м<sup>3</sup>/ч

и 519 тыс. м<sup>3</sup> в год [2]. Нарушение герметичности газопроводов происходит по различным причинам. На рис. 1 показана диаграмма распределения причин возникновения утечек на газопроводах за 10 последних лет.



Рис. 1. Диаграмма распределения причин утечек на газопроводах

К методам и системам обнаружения утечек предъявляются следующие требования:

- минимальное время реагирования на появление утечки;
- максимальная точность определения местоположения утечки;
- возможность контроля целостности газопровода на всем его протяжении;
- минимизация зависимости от состояния среды;
- минимальная стоимость развертки и эксплуатации системы.

На сегодняшний день существует ряд методик для локализации утечек. По принципу работы их можно разделить на три большие группы: физические – по регистрации физических параметров процессов, происходящих в газопроводе, расчетные – основанные на создании математических моделей и аналитические – построенные на применении математических моделей исходя из результатов аналитической обработки данных телеметрии, поступающих от автоматизированных систем управления технологическими процессами [3].

Классификация методов представлена в табл. 1.

Табл. 1. Методы обнаружения утечек

Визуальные методы	Вычислительные методы	Инструментальные методы
Фиксация запаха	Метод анализа профиля давления	Использование газоанализаторов
Вспенивание мыльной эмульсии	Метод переменного перепада давления	Использование тепловизоров
Появление наледи или снежной шубы	Метод анализа акустической эмиссии	Использование лазерных детекторов
Появление бурой травы летом	Объемно – балансный метод	
Появление бурого снега	Ультразвуковой метод	

Визуальные методы обнаружения утечек при осмотре газопровода являются самыми распространёнными, но имеют такие недостатки как низкая скорость обнаружения утечек, малый охват осматриваемой области, невозможность выполнения контроля при неблагоприятных погодных условиях, дороговизна.

Метод выявления утечек по анализу давления основан на построении модели распределения давления по газопроводу и сравнении его с текущим. При появлении утечки расход газа на одном из участков увеличивается, что приводит к изменению профиля давления. Основной недостаток этого метода заключается в том, что он работает только в стационарном режиме, имеет низкую точность и наличие ложных срабатываний.

Метод переменного перепада давления является вариацией первого метода, использующим в качестве детектора расходомер переменного давления. При протекании газообразного вещества через сужающее устройство средняя скорость потока повышается и давление потока после сужения становится меньше, чем перед ним. Разность перепад этих давления зависит от расхода протекающего вещества и при появлении утечки будет отличаться от эталонного профиля. К достоинствам метода можно отнести сравнительно высокую точность измерения, независимость от температуры окружающей среды, к недостаткам – потерю энергии потока после прохождения сужения, низкую чувствительность при малых утечках.

Метод анализа акустической эмиссии основан на регистрации и анализе акустических волн, возникающих при истечении газа через отверстия или при разрушении материала газопровода. Для приема сигналов акустической эмиссии применяются пьезоэлектрические преобразователи и быстродействующие измерители давления. К достоинствам метода можно отнести высокую чувствительность к появляющимся дефектам, а, следовательно, малое время детектирования. Также метод позволяет определять координату места утечки с большой точностью. К недостаткам метода можно отнести низкую помехоустойчивость, трудность выделения сигнала на фоне шумов, необходимость использования специальных методов обработки сигналов.

Объемно – балансовый метод учитывает нормализованный расход газа в трубе между двумя установленными расходомерами. К достоинствам метода можно отнести возможность контроля как медленно, так и быстро развивающихся утечек. К недостаткам – ограничение определения минимальной утечки определяется точностью расходомера, не позволяет определить координату утечки с приемлемой точностью. [4]

Ультразвуковой метод основан на использовании детектора ультразвука и явлении смещения звукового колебания движущейся средой. При появлении утечки газа в месте дефекта происходит выброс струи метана, возникают турбулентность, которая порождает ультразвуковые волны. По амплитуде звукового колебания возможно определить расстояние до места утечки. Ключевым недостатком данного метода является увеличенное время обнаружения утечек. [5]

Более точными и надежными методами являются методы инструментального контроля и мониторинга. Перспективным методом является тепловизионный метод, основанный на анализе тепловых излучений земной поверхности в районе прохождения газопровода [6]. Принцип работы заключается в сравнении текущего и эталонного полей температуры, и наложении обнаруженных аномалий на видеосъемку для привязки их к карте изображений. Обнаруженные аномалии служат для идентификации дефектов в наземном комплексе. Для реализации метода в качестве обследующего устройства возможно использование беспилотного летающего аппарата.

Наиболее распространенным методом является использование различных газоанализаторов ручного и автоматического действия. Основным недостатком данного метода являются большие трудозатраты и невысокая оперативность обнаружения. В основе регистрации утечки метана лежит технология абсорбционно-спектроскопического анализа настраиваемого лазерного диода. При попадании лазерного луча в газовое облако происходит поглощение части энергии луча, что и фиксируется детектором на приемной стороне. Использование ручных газоанализаторов обычно совмещается с визуальным осмотром, когда обходчику необходимо пройти вдоль всей трассы газопровода. При этом необходимо отметить, что использование этих методов затруднено в отдаленных и труднодоступных местах.

Следующая группа методов основана на использовании различного типа датчиков, устанавливаемых на протяженных участках газопровода и систем сбора данных с них. Примером может служить использование оптоволоконных датчиков, устанавливаемых вдоль внешней части газопровода. При появлении утечки происходит изменение температуры газа

внутри потока и изменение температуры оптоволоконного кабеля. Система позволяет фиксировать изменение температуры с точностью до  $0.01^{\circ}\text{C}$ . К достоинствам этого метода можно отнести непрерывность контроля и точность определения местоположения утечки [6,7].

В целях совершенствования методов поиска и выявления утечек метана на магистральных газопроводах предложен метод, основанный на свойстве метана поглощать инфракрасное излучение на определенной длине волны. Лазерный детектор метана посылает инфракрасный луч, который, отражаясь от подстилающих поверхностей за местом контроля, возвращается в фотоприемник, измеряющий степень затухания принятого сигнала. Полученный результат сравнивается с некоторой пороговой величиной и при ее превышении принимается решение о наличии утечки метана в обследуемом месте. Конструктивно такая система может быть выполнена различными способами, наибольшую чувствительность к утечкам показывают стационарные системы, либо системы, устанавливаемые на транспорте. Внешний вид приведен на рис.2 а, б.

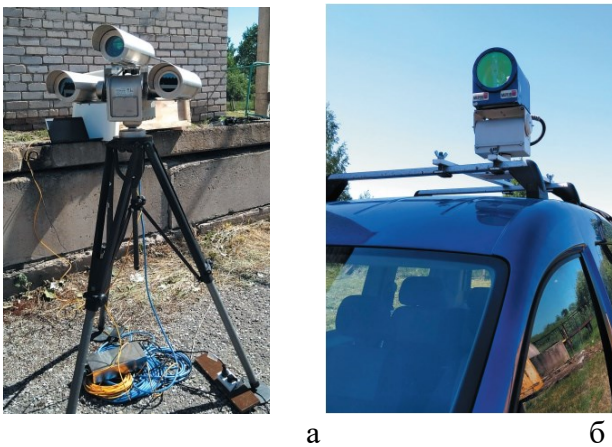


Рис. 2. Лазерные детекторы метана (а) – стационарного размещения, (б) – с размещением на транспорте

Использование таких устройств позволяет обнаруживать небольшие утечки газа с расстояния в несколько десятков метров. Так, утечка объемом до 5 л/ч может детектироваться с расстояния до 40 метров, утечка большего объема – с расстояния до 60 м [8]. Форм-фактор исполнения этих приборов не позволяет использовать их как переносные, а, следовательно, мало применим для поиска утечек в труднодоступных и протяженных местах. Для преодоления этого ограничения производится поиск утечек с воздуха с использованием вертолетов или самолетов, с установленным на борту дистанционным детектором лазерного излучения, а в последнее время с использованием беспилотных летательных аппаратов (БПЛА). Основой такой системы является диодный лазер с перестраиваемой частотой и излучением в полосе поглощения метана  $1,65\ \mu\text{m}$ . Наведение луча на газопровод осуществляется с помощью призм или зеркал, далее лазерный луч отражается от подстилающей поверхности и принимается фотоприемником. Полученные данные обрабатываются, и вычисляется концентрация газа в воздухе (рис.3) [9]. При этом оптимальная высота облета может составлять до 75 метров и скорость до 150 км/ч. Недостатком такого способа мониторинга является зависимость от погодных условий, увеличение вероятности ошибки при увеличении высоты и скорости облета.

Логическим продолжением системы контроля утечек вертолётного типа стало использование БПЛА.



Рис. 3. Контроль утечек метана с воздуха

Для снижения массы и габаритов лазерного детектора был использован полупроводниковый лазер, для получения более достоверных результатов – современные алгоритмы фильтрации (на основе вейвлет-преобразований) и нейронные сети с предварительной кластеризацией входных данных.

Таким образом, в настоящее время на линейной части газопроводов применяются различные технические и аналитические методы контроля утечек. Из-за большой протяженности и большого количества труднодоступных участков на магистральных газопроводах использование технических методов оказывается затрудненным или невозможным, а также носит периодический характер. Использование алгоритмических методов позволяет решить эту проблему, но они также имеют свои недостатки. Часть методов не позволяет идентифицировать точное местоположение утечки, другие применимы только в стационарных режимах, в связи с чем задача разработки метода контроля утечек остается актуальной.

### Литература:

1. Единая система газоснабжения России // Газпром [Электронный ресурс]. URL: <https://www.gazprom.ru/about/production/transportation/> (Дата обращения: 24.01.2022).
2. Балтин Р.Р., Краснов А.Н., Майский Р.А. Система мониторинга утечек газа через продувочные трубопроводы // Электротехнические и информационные комплексы и системы. 2017. №2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sistema-monitoringa-utechek-gaza-cherez-produvochnye-truboprovody> (Дата обращения: 01.11.2021).
3. Ямкин А.В., Опытные испытания стационарной системы инфразвукового мониторинга на участке магистрального газопровода: [Электронный ресурс]. Томск, 2019. URL: <http://earchive.tpu.ru/bitstream/11683/53401/1/TPU693482.pdf> (Дата обращения: 01.01.2022).
4. Чупин В.Р., Гаськов Е.В., Майзель Д.И. Методы обнаружения утечек газа из магистральных трубопроводов // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2012. №2 (3). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/metody-obnaruzheniya-utechek-gaza-iz-magistralnyh-truboprovodov> (Дата обращения: 01.11.2021).
5. Дефектоскопия нефте- и газопроводов с помощью технологии акустической голографии: // НГС Нефть и газ Сибири. 2021. №3. URL: <https://sectormedia.ru/news/materialy-i-tekhnologii/defektoskopiya-nefte-i-gazoprovodov-s-pomoshchyu-tekhnologii-akusticheskoy-golografii/> (Дата обращения: 03.01.2022)
6. Дудин Р.В., Дербичев В.С., Роман К.С., Липатова А.В., Гулая Ю.В., Шульгин В.Е. Последние достижения в области обнаружения утечек в газопроводах // Вестник Евразийской науки, 2020 №1, URL: <https://esj.today/PDF/27SAVN120.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ.

7. Бушмелев П.Е. Беспроводная сенсорная телекоммуникационная система контроля утечек метана из магистралей газотранспортной сети: дисс. ... канд. техн. наук: 05.12.13. – Москва, 2014.

8. Колобков Д.С., Рыбкин Д. Е. Поиск утечек газа на сетях газораспределения, основанный на новых принципах //Газовая промышленность. Спецвыпуск. 2019. №3. URL: <https://neftegas.info/upload/iblock/5df/5dffa09d51b1cc994674ab8dbfd30c82.pdf> (Дата обращения: 5.11.2021).

9. Дистанционный детектор метана для авиационного обследования газопроводов // Пергам [Электронный ресурс] URL:<https://www.pergam.ru/articles/detektor-metana-dlya-gazoprovodov.htm> (Дата обращения 5.11.2021).

УДК 621.311.171

## МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ОПТИМИЗАЦИИ КОМПОНОВКИ ЭЛЕМЕНТОВ НА ПЕЧАТНОЙ ПЛАТЕ

*Е.А. Дмитриева, магистрант, К.И. Бушмелева, д.т.н., профессор,  
Сургутский госуниверситет, Сургут, Россия, dimitrieva\_ea@edu.surgu.ru  
Научный руководитель: К.И. Бушмелева, д-р техн. наук, профессор каф. АСОИУ*

**Аннотация.** В данной работе описан процесс анализа термического исследования электронных средств, используемый при построении структурной схемы метода оптимизации компоновки элементов на печатных платах, а также модель алгоритма оптимизации, реализованная на основе гибридного алгоритма. Оптимизация компоновки повысит качество и надежность проектируемых электронных средств.

**Ключевые слова:** электронные средства, печатная плата, оптимизация компоновки, генетический алгоритм, муравьиный алгоритм

## ETHODS AND TOOLS FOR OPTIMIZING THE LAYOUT OF ELEMENTS ON THE PRINTED BOARD

*E.A. Dimitrieva, undergraduate, K.I. Bushmeleva, doctor of technical sciences, professor,  
Surgut State University, Surgut, Russia  
Scientific adviser: K.I. Bushmeleva, Dr. Sc. sciences, professor ASOIU*

**Abstract.** This paper describes the process of analyzing the thermal study of electronic means used in constructing a block diagram of the method for optimizing the layout of elements on printed circuit boards, as well as a model of the optimization algorithm implemented on the basis of a hybrid algorithm. Layout optimization will improve the quality and reliability of the designed electronic means.

**Keywords:** electronic means, printed circuit board, layout optimization, genetic algorithm, ant colony algorithm

*Введение.* Из-за высокой сложности современных электронных средств необходимо автоматизировать задачи размещения, трассировки, расчета тепловых режимов, электромагнитного взаимодействия компонентов на печатной плате. С увеличением объемов проектируемых схем растет и требование к их качеству. Проблема качества существует уже давно, но решения, позволяющие найти более эффективные решения, были найдены только в последнее десятилетие.

В качестве критерия оптимизации в данном исследовании был выбран температурный режим, характеризующийся совокупностью температур отдельных его точек - теплового поля и формируется как теплом внешней среды, так и тепловой энергией, излучаемой элементами самой микросхемы [1]. Температурный режим влияет на надежность электронной схемы. Надежность относится к способности электронных устройств своевременно поддерживать значения всех параметров и выполнять требуемые функции в конкретных условиях применения. Повышение температуры способствует увеличению частоты отказов



электронных компонентов и приводит к более быстрому старению конструкционных материалов [2].

Повышение температуры элементов печатной платы связано, с одной стороны, с повышением температуры окружающей среды, а с другой стороны, с выделением тепла за счет мощности, рассеиваемой компонентами в процессе их работы. Поэтому при размещении компонентов следует учитывать температурный анализ печатной платы.

В качестве поля для размещения элементов будем использовать прямоугольное поле размера  $M \times N$ . Размер одной ячейки будет равен размеру меньшего элемента. Необходимо учитывать, что элементы большего размера могут занимать несколько ячеек.

Для расчета тепловых моделей компонентов печатной платы предположим, что известна температура воздуха в каналах, между которыми расположена печатная плата. Компоненты печатной платы обмениваются между собой лучистой энергией, а также охлаждаются за счет конвекции воздуха в каналах между платами. В то же время часть тепла, выделяемого элементом, нагревает ее.

Тепло, выделяемое элементом печатной платы, уносится потоком воздуха и излучением и передается другим компонентам печатной платы за счет теплопроводности материала. Поэтому для получения параметров тепловой связи между компонентами печатной платы необходимо учитывать: кондукцию (теплопроводность), конвекцию и лучеиспускание (радиацию).

Для произвольно выбранного элемента ПП можем записать уравнение расчета тепла:

$$P = P_{\text{cond}} + P_{\text{luch}} + P_{\text{conv}}, \quad (1)$$

где  $P_{\text{cond}}$  – количество тепла, переданного через ПП,  $P_{\text{conv}}$  – количество тепла, рассеянного при помощи конвекции ПП,  $P_{\text{luch}}$  – количество теплоты излучаемой одним элементом ПП по отношению к другому [3].

Структурная схема предложенного метода оптимизации компоновки элементов на ПП электронных средств представлена на рис. 1.

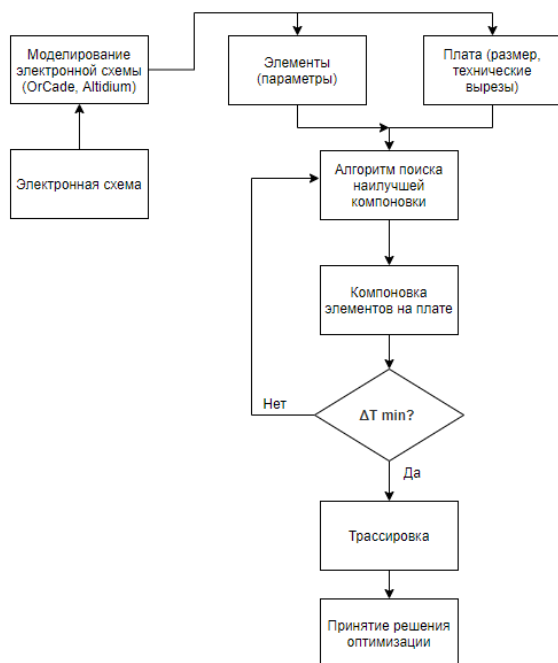


Рис. 1. Структурная схема метода оптимизации компоновки элементов на печатных платах электронных средств

В процессе проектирования электронных средств значимую роль играет выбранная математическая модель. Наиболее распространённой математической моделью являются

графы. Функциональные электрические схемы моделируются графовыми моделями, где множеству элементов ставится в соответствие множество  $X$  вершин графа  $G = (X, U)$ , а множеству соединений – множество  $U$  ребер графа [4].

В качестве математической модели объекта проектирования при решении задачи компоновки используют в основном неориентированные графы (рис. 2).

Для оптимального размещения элементов на печатной плате можно воспользоваться муравьиным алгоритмом, который позволяет оптимизировать множество сложных комбинаторных задач.

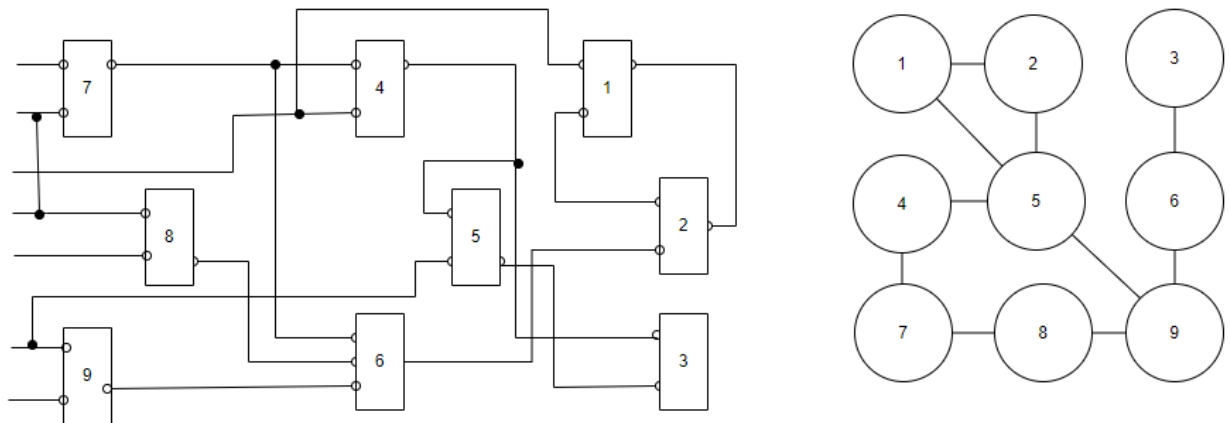


Рис. 2. Пример перехода от схемы к графу (комбинационная схема, граф  $G$ )

Рассмотрим процесс реализации модели алгоритма оптимизации, реализованный на основе муравьиного алгоритма (рис. 3) [5].

Муравьиные алгоритмы представляют собой вероятностную жадную эвристику, где вероятность определяется на основе качественного описания решения, полученного из предыдущего решения. Его можно использовать для статических и динамических комбинаторных оптимизационных задач. Сходимость гарантирована, а значит, в любом случае, будет найдено оптимальное решение для любой ситуации, но скорость сходимости неизвестна.

Качество полученного решения зависит от параметров настройки в вероятностно-пропорциональном правиле выбора пути на основе текущего количества феромона и параметров правил откладывания и испарения феромона. Гибкая настройка этих параметров может привести к лучшему решению. Важную роль играет начальное распространение феромонов, а также выбор оптимального решения на шаге инициализации муравьев.

Перспективным способом улучшения алгоритма является гибридизация переменных с генетическими алгоритмами.



Рис. 3. Структурная схема муравьиного алгоритма

Генетический алгоритм – эвристический алгоритм поиска, который используется при решении задач моделирования и оптимизации с использованием последовательного подбора и вариации необходимых параметров с использованием механизмов, которые напоминают биологическую эволюцию. Алгоритм может быть использован при решении крупномасштабных проблем оптимизации различного рода задач.

Кроссинговер — это один из видов оператора рекомбинации генетического алгоритма. Применяется на хромосомах с бинарными генами. Использование скрещивания проводит операцию перемешивания решений-кандидатов и напоминает скрещивание в биологической среде. Структурная схема генетического алгоритма оптимизации компоновки элементов на печатных платах электронных средств представлена на рис 4.

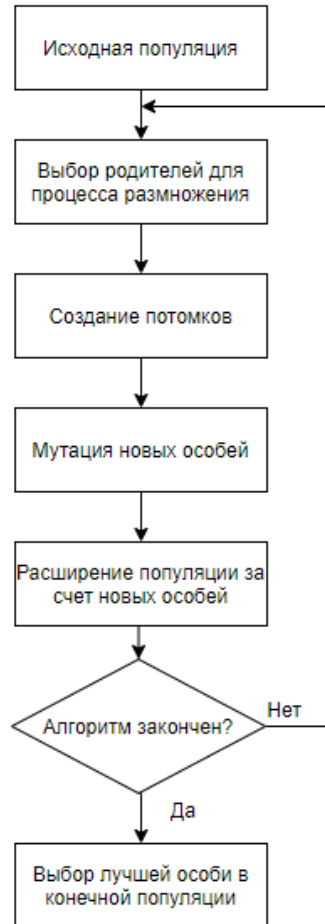


Рис. 4. Структурная схема генетического алгоритма

Анализ схемы показывает, что на начальном этапе необходимо сформировать исходную популяцию, для этого чаще всего применяют случайный метод. Целевой функцией для определения наилучшей особи будем считать поиск минимальной разницы температур между наиболее и наименее нагретыми элементами ПП. На этапе отбора выбираются наиболее приспособленные особи для формирования на их основе следующих особей. Далее идет процесс скрещивания и мутация из них новых особей. Мутация позволяет поддерживать генетическое разнообразие особей, чтобы популяция не выродилась и хромосомы не стали похожи друг на друга.

Условием окончания работы генетического алгоритма могут быть различные решения, такие как достижение заданного числа поколений, получение решения, удовлетворяющего пользователя или достижение лимита времени, затраченного на поиск наилучшего решения.

Для улучшения полученного решения необходимо использовать гибридный алгоритм, объединяющий в себе генетический и муравьиный алгоритмы.

Комбинированный алгоритм может включать следующие основные этапы:

1. Формирование исходной популяции.
2. Кроссинговер.
3. Мутация.
4. Отбор.
5. Присвоение весового коэффициента (концентрация феромона).
6. Определение величины изменения уровня феромона.
7. Обновление феромона.

8. Возврат муравьев в начальные позиции и определение вероятностей размещения.

9. Формирование новой популяции.

Таким образом, в алгоритме действия 1-4, 9 соответствуют генетическому алгоритму, который обеспечивает глобальный поиск, а действия 5-8 относятся к муравьиному алгоритму и обеспечивают локальный поиск в пространстве решений.

Комбинирование этих двух алгоритмов может повысить разнообразие эволюционного материала в популяции, увеличивая, в ряде случаев, скорость сходимости к глобальному оптимуму, за счет того, что при использовании однотипных алгоритмов преимущества одного алгоритма с различными значениями параметров, могут компенсировать недостатки другого.

#### **Литература:**

1. Бушмелева К.И., Бажаев А.Б., Увайсов С.У., Бушмелев П.Е. Автоматизированная система расчета отбраковочных допусков на электрорадиоэлементы электронных средств // Вестник кибернетики. 2018. № 1 (29). С. 72–81.
2. Тепловой режим [Электронный ресурс]. Режим доступа: [http://oplib.ru/himiya/view/1161251\\_teplovoy\\_rezhim](http://oplib.ru/himiya/view/1161251_teplovoy_rezhim) (дата обращения: 22.02.2021).
3. Бушмелева К.И., Дмитриева Е.А., Занг Ван Тхань, Дао Ань Куан Автоматизированная система оптимизации компоновки элементов в электронных средствах // Качество. Безопасность. Диагностика. 2020. №1. С. 378–384.
4. Гладков Л.А., Гладкова Н.В., Гордиенко В.Н. Модифицированный генетический алгоритм решения задачи компоновки блоков ЭВА // Информатика, вычислительная техника и инженерное образование. 2015. №4 (24).
5. Чивилихин, Д.С. Муравьиный алгоритм для построения автоматных программ по спецификации / Д.С. Чивилихин, В.И. Ульянов, А.А. Шалыто. – Текст: непосредственный // XII Всероссийское совещание по проблемам управления. – Москва, 2014.

Проблемы и решения автоматизации XXI века:  
V Национальная научно-практическая студенческая конференция: Сургут, СурГУ, 25–26 марта 2022 г.

*Научное издание*

**ПРОБЛЕМЫ И РЕШЕНИЯ  
АВТОМАТИЗАЦИИ XXI ВЕКА**

*Материалы  
V Национальной научно-практической  
студенческой конференции*

Редактор А.А. Исаев

БУ ВО ХМАО-Югры «Сургутский государственный университет»  
628400, Россия, Ханты-Мансийский автономный округ,  
г. Сургут, пр. Ленина, 1.  
Тел. (3462) 76-29-00, факс (3462) 76-29-29