

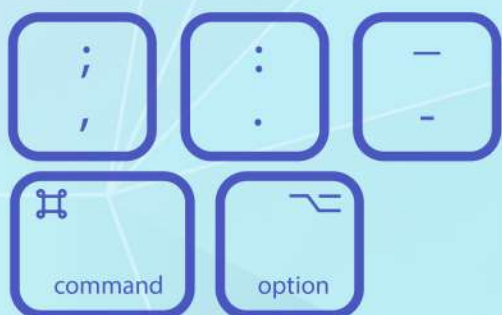


САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ЛЕСОТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

ИМЕНИ С. М. КИРОВА

Информационные системы и технологии: теория и практика

Выпуск 17
2025



Сборник научных трудов

Министерство науки и высшего образования РФ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЛЕСОТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ имени С. М. Кирова»

Кафедра информационных систем и технологий

ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ И ТЕХНОЛОГИИ: ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА

С б о р н и к н а у ч н ы х т р у д о в

Выпуск 17

Санкт-Петербург

2025

Рассмотрен и рекомендован к изданию
Научно-методическим советом
Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета
имени С.М. Кирова

Редакционная коллегия:

Н. В. Меламед, кандидат технических наук, доцент (отв. редактор)

М. Р. Вагизов, доктор технических наук, доцент (отв. секретарь)

С. П. Присяжнюк, доктор технических наук, профессор,

Е. П. Истомин, доктор технических наук, профессор

Л. В. Уткин, доктор технических наук, профессор

А. М. Заяц, кандидат технических наук, профессор

С. П. Хабаров, кандидат технических наук, доцент

П. И. Кузин, кандидат технических наук, доцент

Составитель

Н. В. Меламед, кандидат технических наук, доцент

Рецензент

Доктор технических наук, профессор

кафедра прикладной информатики

Институт информационных систем и геотехнологий

Российский государственный гидрометеорологический университет

А. Г. Соколов

Информационные системы и технологии: теория и практика: сб. научн.тр. вып.
17/ отв. ред. Н.В.Меламед. – СПб.: СПбГЛТУ, 2025. – 224 с.

ISBN 978-5-9239-1539-6

Сборник подготовлен по результатам научно-практической деятельности преподавателей, аспирантов, студентов и партнёров кафедры информационных систем и технологий.

Темплан 2025 г. Изд. № 215

ISBN 978-5-9239-1539-6

@СПбГЛТУ, 2025

ОГЛАВЛЕНИЕ

М.Р. Вагизов, А.М. Заяц. Почетному профессору Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета имени С.М. Кирова Панфилову Ивану Васильевичу 99 лет.....	6-11
М.А. Авдошина. Проектирование компьютерной программы для анализа окислительно-восстановительных реакций.....	12-19
Н.А. Ажогин, П.И. Кузин, Е.И. Кузина, М.А. Креков. Формализованное описание волоконно-оптической линии связи	19-22
И.В. Алексеев. Загрузка лесоустроительной документации в ГИС проблемы и решения	23-29
И.Д. Бажунов, А.А. Мокринский, А.К. Бойцов. Разработка архитектуры системы дистанционного мониторинга лесных экосистем	30-35
Г.И. Базир, П.И. Кузин., Е.И. Кузина, М.Е. Скрипников. Поэтапная адаптация линий связи как средство повышения помехоустойчивости.....	36-39
А.В. Белов, М.В. Виноградов. Разработка базы данных приложения по логистическому учету.....	39-41
Р.М. Бобровская. Анализ потери лесопокрытой площади Центральной Африки по материалам дистанционного зондирования Земли.....	41-48
А.Е. Боркин, В.В. Лабец, А.С. Мурашкин. Выбор рационального метода прогнозирования многомерных временных рядов для анализа функционирования инженерных систем на плановый период.....	49-59
Н.П. Васильев. Топология диаграмм Вороного в различных графических контекстах	60-68
А.А. Ветчинкина. Разработка программного решения для организации информационной поддержки кафедр.....	69-75
В.А. Груздев, И.Б. Михайлов, Д.М. Челаков. Построение структуры комплекса прогнозирования показателей электромагнитной доступности объектов радиоконтроля	75-80
А.М. Заяц. Смарт-контракты в лесном бизнесе.....	80-84
С.Е. Иванов, П.И. Кузин, Е.И. Кузина, М.А. Креков. Оценка вспомогательного трафика при сетевом контроле	85-87

П.И. Кузин, Е.И. Кузина, М.А. Креков. Проблема определения конфигурации физического уровня цифровой сети	88-90
П.И. Кузин, Е.И.Кузина, М.И. Карномазов. Реализация роботизированных систем в динамике контроля безопасности связи	91-93
М.М. Кумарина, П.А. Кашо. Сравнительный анализ методов и средств визуализации данных.....	93-103
А.А. Логачёв. Получение информационно-аналитических данных об обучающихся СПбГЛТУ на платформе 1С	104-113
Л.Г. Логачёва. Использование библиотеки NR Fuzzyj Toolkit для построения экспертных систем с нечеткой логикой на примере оценки жизненного состояния деревьев	113-118
Д. И. Маклашин, С. П. Хабаров. Реализация муравьиного интеллекта с использованием распределенных вычислений	119 –127
И.А. Мартын, Э.С. Ключина. Оценка изменения площади лесного массива Республики Коми.....	127-130
И.А. Мартын, К.А. Мартын. Автоматизация процесса учета площади леса с применением методов машинного обучения и ИИ	131-133
К.А. Мартын. Предобработка пространственных данных БАС для классификации единиц лесного массива с помощью искусственного интеллекта	134-138
Н.В. Меламед, Н.В. Добровольский. Обзор систем и подходов сетевого мониторинга.....	138-149
В.А. Миронов. Подготовка электронного приложения в виде рпограммно-методического комплекса	150-153
А.Д. Михалев, С.Д. Михалева, С.П. Хабаров. Прогнозирование лесных пожаров с помощью наивного байесовского классификатора в среде Higin Lite.....	153-160
С.Д. Михалева, М.Р. Вагизов, И.И. Гайфуллин. Изучение Мухинского болота с использованием дешифрирования данных космических снимков	160-168
И.А. Обухова, И.Н. Трапезникова, В.И. Сиклицкий. Технологии обработки информации в пакете Origin для обработки спектров крафтовой бумаги.....	169-173

И.А. Потапов, В.А. Филимонов, В.И. Дырин, Та Мин Куанг. Особенности декодирования кодов Хэмминга.....	174-177
А.С. Скубак, М.П. Филяев. Анализ факторов, влияющих на энергопотребление беспроводных сенсорных сетей и длительность их жизненного цикла.....	177-183
В.Г. Стефанцов. Разработка планировщика авиаперелетов с использованием простейших веб-приложений в среде SWI Prolog.....	183- 188
С.А. Субботина, Д.А. Ковалев. Статистический анализ аварий, причины и следствия их возникновения на ПОА «ТГК-1».....	188-193
С.П. Хабаров. Исследование методов глобального обновления феромонов в алгоритмах муравьиных колоний.....	194-205
А.Г. Шпекторов, С.П. Хабаров. Исследование алгоритма муравьиной колонии для задач непрерывной оптимизации.....	205-213
М.А. Шубина. Перспективы развития технологий получения пространственных данных.....	214-223

М. Р. Вагизов, доктор технических наук, доцент
Заведующий кафедрой информационных систем и технологий
СПбГЛТУ им. С. М. Кирова
bars-tatarin@yandex.ru

А. М. Заяц, кандидат технических наук, профессор
Кафедра информационных систем и технологий
СПбГЛТУ им. С. М. Кирова
zamfta@yandex.ru

**Почетному профессору Санкт-Петербургского
государственного лесотехнического
университета имени С.М.Кирова
Панфилову Ивану Васильевичу
99 лет**

Выдающийся ученый и педагог, доктор технических наук, профессор Иван Васильевич Панфилов в 2024 году отметил свой 99-летний юбилей.

В день преподавателя высшей школы на заседании ученого совета Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета доктору технических наук Ивану Васильевичу Панфилову было присвоено звание «Почетный профессор» за исключительные заслуги в области образования и научно-педагогической деятельности.



Годы жизни Ивана Васильевича Панфилова - это ярчайший пример беззаветного служения Отечеству, науке и образованию.

И вот как это было.

Великая Отечественная война – восемнадцатилетний юноша, не колеблясь, вступил в ряды Красной Армии. После недолгого обучения в 1-ом Московском пехотном училище, которое было прервано из-за сложной обстановки на фронтах, в июле 1943 года был откомандирован в артиллерийский корпус прорыва 2-го Украинского фронта.

Из воспоминаний Ивана Васильевича

! В атаку зимой ходили на танках, часто бывало, что шинели примерзали к броне так, что спешиваться приходилось с трудом, отрывая шинель кусками от брони, а дальше вперед в атаку...



В конце 1943 года Иван Васильевич был направлен в Ташкентское летное училище штурманов, где и встретил День Победы. В мае 1945 г училище расформировали, а учебные отделения перевели в Харьковское штурманское училище, которое он закончил в 1947 году по специальности штурмана. Для дальнейшего прохождения службы был направлен на Дальний Восток, в распоряжение командования 4-ой авиационной армии. В отделе кадров армии получил направление в минно-торпедный авиаполк, который базировался на Ляодунском полуострове КНР, в котором и прослужил с 1947 по 1951 год.



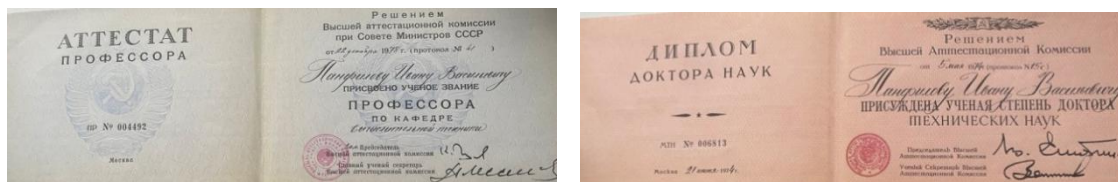
Эти уже не всегда мирные годы Иван Васильевич вспоминает как продолжение в приобретении боевого опыта, но уже в авиации. За отличные показатели в боевой и политической подготовке, и проявление тяги к знаниям молодой офицер был направлен на учебу в

Ленинградскую Военно-воздушную Краснознаменную инженерную академию им. А.Ф. Можайского (ЛВВИКА), которую закончил с отличием в 1958 году.

В 1961 году поступил в адъюнктуру на кафедру вычислительной техники ЛВВИКА им. А.Ф. Можайского. В 1963 году успешно защитил кандидатскую диссертацию по специальности вычислительные машины и военная кибернетика.



В 1972 году там же защитил докторскую диссертацию по специальности вычислительные системы. В 1978 году ему было присвоено ученое звание профессора.

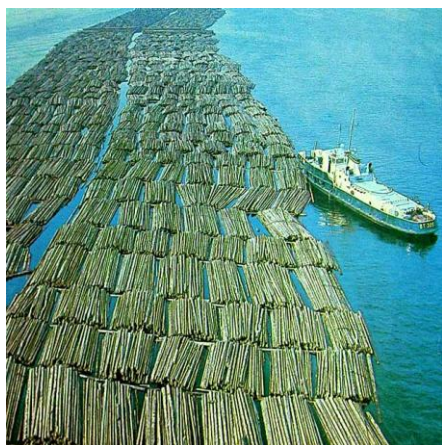


Все свои знания и научный опыт Иван Васильевич отдавал развитию вычислительных и автоматизированных систем авиации и космонавтики. Часто с коллегами выезжал на Байконур для внедрения и проверки различных систем непосредственно на практике.



В 1978 году по возрасту, Иван Васильевич демобилизовался из рядов вооруженных сил в звании полковника. В том же году 26 октября принят по конкурсу на должность профессора кафедры вычислительной техники Ленинградской ордена Ленина Лесотехнической академии им. С.М. Кирова, в которой проработал до 31 августа 2018 года. Основная преподавательская работа проходила на Лесоинженерном факультете. Много усилий было предпринято им для образования и открытия ученого совета на кафедре.

В 1988-1989 году неоднократно выезжал в Высшую аттестационную комиссию и в Министерство образования в Москву для решения вопросов и оформления документов. В результате в 1990 году в Академии был открыт ученый совет по специальностям 05.13.01 «Управление в технических системах» и 05.13.07 «Автоматизация производственных процессов в лесном комплексе», основу которого составили ученые кафедр вычислительной техники и автоматизации производственных процессов. Открытие совета по этим специальностям позволила сотрудникам и аспирантам кафедры успешно защитить свои кандидатские диссертации, основой которых была научная работа кафедры. За время работы в ЛТА им. С.М.Кирова неоднократно отмечался благодарностями, почетными грамотами и денежными премиями не только за добросовестное выполнение своих служебных обязанностей в педагогической и научной областях, но и за активное участие в военно-патриотическом воспитании молодежи.



Коллектив под руководством проф. Панфилова И.В. в составе доц. Виксне В.В., научного сотрудника Е.И. Панфиловой и ассистента Л.В. Жамовой: выполнили несколько научно-исследовательских работ для лесной и деревообрабатывающей промышленности.

Так впервые в отрасли были выполнены разработка и внедрение в промышленную эксплуатацию автоматизированная система управления технологическим процессом на крупнейшем в мире лесосплавном Керчевском рейде. В советскую эпоху Керчевский сплавной рейд был крупнейшим предприятием, среди себе подобных, в Европе, и второй в мире после Канады.

За период службы и работы общий трудовой стаж проф. Панфилова И.В. насчитывает 75 лет, написал и опубликовал монографию, учебник, более десяти учебных пособий и множество статей по вычислительной тематике, подготовил 8 кандидатов и двух докторов технических наук.



Вот только часть из его научно-образовательных трудов.

Профессор Панфилов И.В. — не только талантливый ученый, но и вдохновенный педагог. Под его руководством выросло не одно поколение инженеров. Его глубокие знания, богатый опыт и умение сумели заинтересовать студентов и сделали его любимым преподавателем.

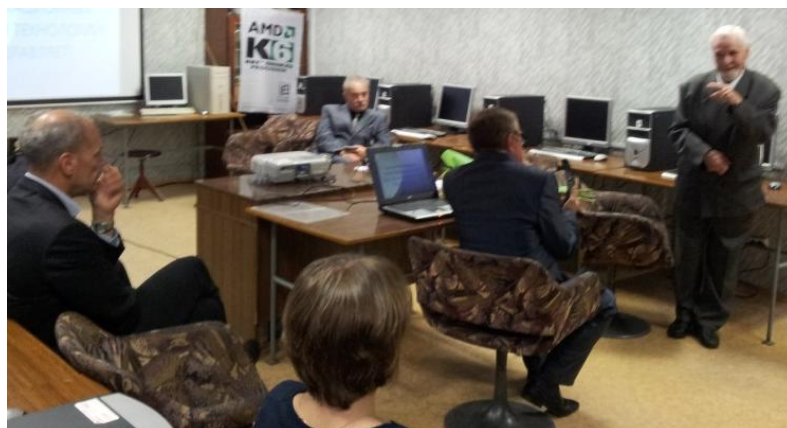
В семейной жизни он замечательный супруг, отец и дедушка. Более 63 лет он прожил в ладу и любви с супругой Лидией Владимировной, вырастил любящую дочь и внука.

О его дачных делах можно написать отдельную статью. По молодости брал «березовые высоты» для установки антенны. А на земле добросовестно трудился даже в свои 90 лет.



И

Иван Васильевич и сейчас в меру своих сил принимает участие в научно-образовательной жизни кафедры.





В свои 99 лет Иван Васильевич лично присутствовал на дании ученого совета Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета, где ему было присвоено звание «Почетный профессор».

Энергия Ивана Васильевича, его оптимизм, страсть к знаниям и любовь к своей профессии являются примером, вдохновляющим на новые открытия и достижения сегодняшних и будущих студентов и преподавателей нашего университета.

Дополнительно с материалами о профессоре Панфилове И.В. можно познакомиться здесь <https://isitspbftu.ru/news/125>, <https://vk.com/@-108623221-ivan-vasilevich-panfilov-99-let-zhizni-posvyaschennyh-nauke>

М. А. Авдошина, кандидат социологических наук, доцент
Кафедра информационных систем и технологий
СПбГЛТУ им. С.М.Кирова
Maria78910@yandex.ru

ПРОЕКТИРОВАНИЕ КОМПЬЮТЕРНОЙ ПРОГРАММЫ ДЛЯ АНАЛИЗА ОКИСЛИТЕЛЬНО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫХ РЕАКЦИЙ

DESIGNING OF A COMPUTER PROGRAM FOR THE ANALYSIS OF REDOX REACTIONS

Аннотация. В статье анализируются методы обработки данных в области физической химии. Рассматривается возможность извлечения данных, необходимость их инициализации с точки зрения объекта исследования. Определены подходы к решению проблемы расстановки коэффициентов в химических уравнениях окислительно-восстановительных реакций. На основе модели данных в области химии создан образец компьютерной программы и проведено ее тестирование. Полученные данные могут служить основой для развития и улучшения как исходной модели, так и других программных средств.

Abstract. The article analyzes methods for data research in the field of physical chemistry. The possibility of data extraction and the need for their initialization from the point of view of the research object are considered. Approaches to solving the problem of the arrangement of coefficients in chemical equations of redox reactions are defined. Based on the data model in the field of chemistry, a sample computer program was created and tested. The data obtained can serve as a basis for the development and improvement of both the initial model and other software tools.

Ключевые слова: обработка данных, компьютерная модель, расстановка коэффициентов, окислительно-восстановительные реакции, степень окисления, химия.

Keywords: data processing, computer model, coefficient setting, redox reactions, degree of oxidation, chemistry.

Обработка данных в области химии

Создание компьютерных моделей для обработки данных в области естественных наук актуализируется насущными потребностями производства, лабораторий, химического образования.

Последние достижения в этой сфере связаны с автоматизацией процессов в области химии и биологии, создание программных продуктов в

этой сфере: пакет химических приложений ChemOffice, ACD ChemSketch, Avogadro, Balancer, CambrigeSoftChemDrawPro, ChemMaths и другие [7].

Например, Balancer программа позволяет делать расстановку коэффициентов в уравнениях химических реакций, вычисляет молярную массу, содержит большую базу данных в области химии.

Есть потребность в комплексных программных продуктах в области химических технологий, которые могли бы обеспечить информационную составляющую, предоставить всеобъемлющий доступ к информации в этой сфере и, с другой стороны, дать методики расчета с учетом сложной специфики химической науки.

Есть необходимость в создании новых качественных программных продуктов для автоматизации поиска информации, определения коэффициентов в формулах, создании визуальных моделей электронных орбиталей атомов, определения степени окисления, более плотной работы с окислительно-восстановительными реакциями и другими проблемами, прогнозирования результатов.

Сложность создания подобных программ связана с целым комплексом проблем: большим объемом данных, недостаточно проработанными методами ввода, вывода данных, обработкой данных, тестированием результатов.

На примере фрагмента кода [8] программы в области химии на языке программирования C# видно, что данные обработаны целиком как химические реакции.

```
const RANDOM_DEMOS: Array<string> = [  
    "H2 + O2 = H2O",  
    "Fe + O2 = Fe2O3",  
    "NH3 + O2 = N2 + H2O",  
    "C2H2 + O2 = CO2 + H2O", ...]
```

Но требуется и более тонкая обработка с извлечением отдельных химических элементов. В литературе есть варианты обработки данных с помощью метода извлечения данных [1], выделение из массивов данных отдельных групп, элементов, создание объектов и их последующая обработка.

Для решения сложной задачи манипулирования каждым отдельным химическим элементом и последующего их объединения, возможно применить методы создания объектов. Например, в следующем примере создается метод вывода данных с именем элемента и степени его окисления. Используется интерполированная строка вывода.

```
public void Print()  
{  
    Console.WriteLine($"Имя: {name} Степень окисления: {stepen}");  
}
```

Можно обработать данные и с извлечением метода. Доступ возможно получить через индексы массива либо через индексаторы объектов классов [9]. Например:

```
Na.name = "H";  
Na.stepen = "+1".
```

Индексаторы позволяют получить доступ к объектам класса через индекс, наподобие массивов. Общая схема индексатора выглядит так:

```
тип_элемента this[int индекс] {  
    // Аксессор для получения данных.  
    get {  
        // Возврат значения, которое определяет индекс.  
    }  
    // Аксессор для установки данных.  
    set {  
        // Установка значения, которое определяет индекс.  
    }  
}
```

Можно также осуществить обычную инициализацию и присваивание:

```
string[] Elem = new string[5] { "H", "Li", "Na", "K", "Cu" };
```

Вариант проектирования модели окислительно-восстановительных реакций с использованием химических уравнений

Разработка компьютерной программы требует прорисовки полной функциональной модели химических процессов, реализации сложного алгоритма определения структуры и состава вещества. Одним из методов физической химии является определение состава и структуры веществ на основе вычисления количества электронов в атомах, особенно в том случае, когда идут процессы окисления и восстановления.

Исходными данными для компьютерной модели являются степень окисления элементов и электронные конфигурации атомов в основных состояниях (Рисунок 1.) Автором предлагается вариант проектирования модели окислительно-восстановительных реакций с использованием химических уравнений.

В данной модели расчет данных осуществляется на основе нескольких итераций, в каждой из которых просчитывается количество электронов в атомах. Базовые методы взяты из методологии физической химии[4] и вычислительной математики [1].

Механизм расчета предусматривает использование циклических алгоритмов альтернативного выбора, циклов с постусловием. Реализация выполняется с использованием современных языков объектно-ориентированного программирования, в основном C#.

Интерфейс подобных программ должен быть понятен специалистам в области химии, обучающимся по химии.



Рис1. - Исходные данные для компьютерной модели

Сложность разработки программ в области химии связана с особенностями этих данных, методами их ввода, вывода. Но приложение Windows Form C# в редакторе Visual Studio позволяет решить данную проблему.

Автором предложен вариант программы, в котором планируется автоматизация всех операций, предоставление пользователю необходимой справочной информации в удобной форме, адаптированном пользовательском интерфейсе. На первом этапе реализуется возможность более удобной работы с окислительно-восстановительными реакциями.

Сложность проектирования программы состоит как в общих названных проблемах, так и в конкретике задач: форматах, возможности доступа к элементу, сложности циклических алгоритмов.

Во-первых, есть необходимость ввода данных с использованием разных форматов, включая нижний и верхний индекс.

Задача индексов может решена методами объектно-ориентированного программирования C# с использованием следующего кода [10]:

```

RichTextBox1.SelectedText = "10";
RichTextBox1.SelectionCharOffset = 10;
RichTextBox1.SelectionCharOffset = 0;
richTextBox1.SelectionCharOffset = 10;
richTextBox1.SelectedText = "2";
richTextBox1.SelectionCharOffset = 0;
richTextBox1.AppendText("\n\n");
  
```

Во-вторых, обработка данных может быть достаточно объемной ввиду количества химических элементов и их соединений.

Был выбран путь инициализации отдельных химических элементов, как более перспективный в плане математической обработки. Хотя инициализация готовых формул более быстрый и надежный вариант, т.к. требует меньше отладки и тестирования, в том числе специалистами в области химии. Выбранный путь более сложен с точки зрения отладки компьютерной модели. Требуется более детальное изучение химических процессов. Но он более перспективен в плане научного прогнозирования и развития.

Рассмотрим пример исходных данных для окислительно - восстановительной реакции, реализованной в программе (Рисунок.2).

Интерфейс программы выполнен в Windows Form C#, протестирован в интегрированной среде обработки Visual Studio. В программе используются элементы управления Windows Form C#.

При составлении уравнений окислительно - восстановительных реакций учитывается, что количество электронов, отданных восстановителем, равно числу электронов, принятых окислителем.

Для подбора коэффициентов используется несколько методов. Наиболее распространенными среди них являются: метод электронного баланса и метод электронно-ионных уравнений [4,5].

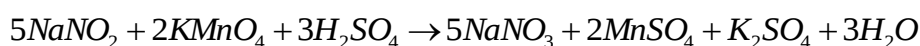
Рис.2. - Программная реализация модели в Visual Studio

При проектировании программы использовался метод электронного баланса, при котором учитывается, что каждый химический элемент имеет либо положительную, либо отрицательную степень окисления. Последняя может меняться в ходе реакции. Сначала необходимо определить, какое вещество является окислителем, а какое восстановителем, а также степени окисления этих элементов.

Рассмотрим исходные данные окислительно-восстановительной реакции на примере окисления нитрата натрия перманганатом калия:



В результате данной реакции программа должна расставить коэффициенты следующим образом:



Данные для обработки программой удобно представить на листе Excel (Рисунок 3).



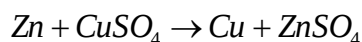
	A	B	C	D	E	F	G	H
1		Na	K	O	Mn	H	S	N
2	5NaNO ₂	1	0	2	0	0	0	1
3	2KMnO ₄	0	1	4	1	0	0	0
4	3H ₂ SO ₄	0	0	4	0	2	1	0
5	5NaNO ₃	-1	0	-3	0	0	0	-1
6	2MnSO ₄	0	0	-4	-1	0	-1	0
7	K ₂ SO ₄	0	-2	-4	0	0	-1	0
8	3H ₂ O	0	0	-1	0	-2	0	0

Рис.3. - Представление данных для окислительно-восстановительной реакции в программе Microsoft Excel

Таким образом, мы получили двумерный массив данных, который можно обработать при помощи математических методов решения линейных уравнений и составить циклический алгоритм с использованием итераций или метода обратной матрицы.

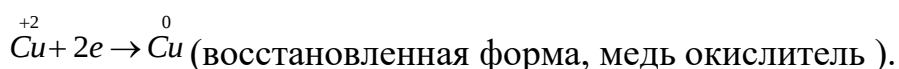
Для реализации данной модели, необходимо на первом этапе знать значение окислителя и восстановителя, понять, какое количество электронов перешло от одного вещества к другому. Окислитель принимает электроны, а восстановитель отдает электроны.

Рассмотрим на примере простой реакции.



В данной реакции Cu является окислителем, а Zn –восстановителем. Cu принимает 2 электрона, а Zn отдает 2 электрона.

В химии это выглядит следующим образом:



Степень окисления характеризует заряд атома, может быть положительной или отрицательной. Например, кислород часто имеет степень окисления -2.

Программная реализация степени окисления может быть выполнена с помощью цикла альтернативного выбора на основе данных о степенях окисления химических элементов, представленных в периодической таблице Д.И.Менделеева.

```

string[] str = { "H", "Li", "Na", "K", "S" };
string x = Convert.ToString(richTextBox3.Text);
switch (x)
{
    case "H":
        richTextBox2.Text += " +1 ";
        Console.WriteLine(richTextBox4.Text = " " + rich-
        TextBox3.Text + "+1");
        break;
    case "Li":
        richTextBox2.Text += " +1 ";
        Console.WriteLine(richTextBox4.Text = " " + rich-
        TextBox3.Text + "+1");
        break;
    case "S":
        richTextBox2.Text += " +1 ";
        Console.WriteLine(richTextBox4.Text = " " + rich-
        TextBox3.Text + "+6");
        break;
    default:
        Console.WriteLine(richTextBox4.Text = "Ошибка");
        break;
}
}

```

Только после получения данных о степени окисления можно расставить коэффициенты в уравнение химической реакции.

Алгоритм обработки данных может выполняться разными способами. Например, можно использовать средства Microsoft Excel (Рисунок 4).

	Na	K	O	Mn	H	S	N			
NaNO2	1	0	2	0	0	0	1	x1	-6	
KMnO4	0	1	4	1	0	0	0	x2	-3	
H2SO4	0	0	4	0	2	1	0	x3	6	
NaNO3	-1	0	-3	0	0	0	-1	x4	0	
MnSO4	0	0	-4	-1	0	-1	0	x5	-2	
K2SO4	0	-2	-4	0	0	-1	0	x6	3	
H2O	0	0	-1	0	-2	0	0	x7	-3	
сумма 1			4		целевая функция	сумма пр	-8,3E-10			
сумма 2			6		-9,9E-10	сумма л	-1,6E-10			
сумма 3			7							
сумма 4			-5							
сумма 5			-6							
сумма 6			-7							
сумма 7			-3							

Поиск решения

Установить целевую ячейку: 

Равной: ☐ максимальному значению ☒ значению:

☐ минимальному значению

Изменяя ячейки: 

Ограничения:

Рис.4. - Попытка решения задачи подбора коэффициентов в MS Excel с использованием надстройки «Поиск решения»

Программа поиска решения делает подбор на основе линейной математической модели. Результаты, к сожалению, не всегда корректны.

Требуется более последовательная обработка данных с учетом всех факторов, особенно степени окисления, которая может меняться в ходе химической реакции.

Программы в области химии востребованы не только среди студентов-химиков, но в области химического производства.

Развитие программных средств может оптимизировать развитие новых химических технологий и решений.

Библиографический список

1. Численные методы. Примеры и задачи. Учебно-методическое пособие по курсам «Информатика» и «Вычислительная математика». / Сост.: Ф.Г.Ахмадиев, Ф.Г.Габбасов, Л.Б.Ермолаева, И.В.Маланичев. Казань: КГАСУ, 2017. – 107 с.
2. Боглаев Ю.П. Вычислительная математика и программирование. М.: Высшая школа, 1990.
3. Кошелев В.К. Межпроцедурный статический анализ для поиска ошибок в исходном коде программ на языке C# / Автореферат дисс.канд.техн.наук. - Москва, 2017
4. Окислительно-восстановительные реакции: методические указания к лабораторным и практическим занятиям по курсу общей химии для студентов химических и нехимических специальностей дневных, вечерних и заочных форм обучения/ НГТУ им. Р.Е. Алексеева сост.: А.Д. Самсонова, А.Л.Галкин, Т.В.Сазонтьева. Н.Новгород, 2012. - 36 с.
5. Тюменцев М.С. Окислительно-восстановительные реакции актинилов, гидразина и щавелевой кислоты в водных средах в присутствии рутениевых и платиново-рутениевых катализаторов / Автореферат дисс.канд.техн.наук.- Москва, 2013
6. Василевский Ю.В. Параллельные технологии решения краевых задач / Автореферат дисс.канд.техн.наук.- Москва, 2005
7. Материалы свободной энциклопедии Википедия // «Химическое программное обеспечение» // Категория:Химическое программное обеспечение — Википедия
8. Chemical-equation-balancer // GitHubchemical-equation-balancer.js GitHub
9. Обучающие материалы компании microsoft // Индексаторы (Руководство по программированию в C#) // Руководство по программированию на C#. Индексаторы / |Microsoft Learn
10. Обучающие материалы компании microsoft // Метод System.String.Format // Метод System.String.Format - .NET | Microsoft Learn

Н.А. Ажогин, курсант
Военная академия связи имени С.М. Буденного
vas.2kaf@mil.ru

П.И. Кузин, кандидат технических наук, доцент
кафедра информационных систем и технологий
СПбГЛТУ имени С.М. Кирова
kuzik78@mail.ru

Е.И. Кузина, преподаватель
кафедра общепрофессиональных дисциплин
Военная академия связи имени С.М. Буденного
vas.2kaf@mil.ru

М.А. Креков, преподаватель
кафедра общепрофессиональных дисциплин
Военная академия связи имени С.М. Буденного
vas.2kaf@mil.ru

ФОРМАЛИЗОВАННОЕ ОПИСАНИЕ ВОЛОКОННО - ОПТИЧЕСКОЙ ЛИНИИ СВЯЗИ

FORMALIZED DESCRIPTION OF A FIBER-OPTIC COMMUNICATION LINE

***Аннотация:** в статье предложено решение возможности эффективного применения волоконно-оптических средств связи на линиях связи со случайными параметрами. Поясняется необходимость разработки и применения модели волоконно-оптической линии связи.*

***Abstract:** in the article the solution of the possibility of effective application of fiber-optic means of communication on communication lines with random parameters is offered. The necessity of development and application of the model of fiber-optic communication line is explained.*

***Ключевые слова:** волоконно-оптические средства связи, математические модели волоконно-оптической линии связи.*

***Key words:** fiber-optic means of communication, mathematical models of fiber-optic communication line.*

Введение.

В настоящее время ведется активная модернизация комплексов и средств связи, которая обусловлена увеличением объемов информации и требованиями к качеству связи. Волоконно-оптические линии связи (ВОЛС) используются в качестве физической основы для формирования

стационарных и полевых транспортных сетей связи (ТСС). Развертывание полевых ВОЛС реальной протяженности существенно затруднено [1].

В связи с этим, формирование оптических ТСС осуществляется на основе ресурсов доверенных операторов. Однако, если раньше доверенный оператор предоставлял услугу по транспортировке трафика от одного узла привязки до другого, так называемый VPN-туннель, то после утверждения концепции интегрированной сети связи для обеспечения нужд безопасности государства, оператор дает услуги на физическом уровне, из состава собственных ВОЛС.

Постановка задачи.

Для предварительной оценки эффективности возможного применения волоконно-оптического средства связи на существующих ВОЛС, необходима разработка математической модели ВОЛС.

Решение.

Предлагается производить анализ эффективности средств проводной связи на основе комплексной оценки совокупности свойств. Составляющими комплексного свойства «эффективность» являются [2, 3]: результативность Y_{Σ} , под которой понимается способность проводной связи функционировать по назначению, ресурсоемкость Y_p , под которой понимается отношение целевого эффекта к затраченным на его достижение ресурсам.

В цифровых системах передачи оценивается сигнал/шум SNR при аддитивном сложении Гауссовского шума канала с сигнальными составляющими в виде логических символов 0 и 1. Оценка оптического отношения сигнал/шум ($OSNR$) необходима для установления порога чувствительности когерентного приемника сигналов.

Для вычисления $OSNR$ в ВОЛС многоканальной эталонной системы передачи с числом пролетов N , усилителем мощности (бустером), линейными усилителями ($N-1$) и предусилителем как правило используется выражение:

$$OSNR = P_{out} - A - NF - 10 \log \left(N + \frac{10^{\frac{G_{BA}}{10}}}{10^{\frac{A}{10}}} \right) - 10 \log(h\nu B_{ref}), \quad (1)$$

где P_{out} – выходная мощность усилителя в дБм, A – потеря на пролете в дБ, G_{BA} – усиление оптического усилителя мощности в дБ, NF – показатель сигнал/шум самопроизвольной эмиссии оптического усилителя в дБ, h – постоянная Планка, ν – оптическая частота в Гц, B_{ref} – фиксированная полоса излучения источника в Гц, а $N-1$ является общим числом линейных усилителей.

В случае одного пролета, имеющего предусилитель, (1) имеет вид:

$$OSNR = P_{out} - A - NF - 10 \log(h\nu B_{ref}). \quad 2)$$

Зная технические характеристики собственного оборудования, которое планируется применять на ВОЛС со случайными характеристиками, часть выражения (2) можно принять за константу $OSNR = const - A$.

Потери на пролете A рассчитываются:

$$A = \alpha L + \alpha_s x + \alpha_c y,$$

где α – типовой коэффициент затухания оптического волокна, α_s – средние потери в сращке оптических волокон, x – число сращков, α_c – средние потери в разъёмном соединителе, y – число разъёмных соединителей, L – длина пролёта.

Для нахождения числовых характеристик функции от случайной величины с линейной зависимостью, при условии независимости величин α_s и x , α_c и y , и используя свойства математического ожидания, имеем вид:

$$E[A] = E[\alpha L + \alpha_s x + \alpha_c y] = L \cdot E[\alpha] + E[\alpha_s] \cdot E[x] + E[\alpha_c] \cdot E[y]. \quad (3)$$

Заключение.

Таким образом, с помощью разработанной модели, можно вычислить числовые характеристики случайных величин, являющихся показателями качества волоконно-оптического средства связи.

Библиографический список

1. Lipatnikov V.A., Kuzin P.I., Rabin A.V. The method of increasing the reliability of noise immunity when receiving information in radio communication systems of the shf and ehf ranges. В сборнике: Journal of Physics: Conference Series. Krasnoyarsk Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering Associations. Krasnoyarsk, Russian Federation, 25 сентября 2020 г. С. 52100.
2. Липатников В.А., Кузин П.И., Рабин А.В. Передачи сигналов в каналах связи с замираниями Накагами // Успехи современной радиоэлектроники. М.: «Издательство Радиотехника». 2019. №11. С. 71-78.
3. Rabin A.V., Lipatnikov V.A., Kuzin P.I. Signal protection methods in channels with nakagami fading. В сборнике: JOP Conference Series: Metrological Support of Innovative Technologies. Krasnoyarsk Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering Associations. Krasnoyarsk, Russia, 25 сентября 2020 г. С. 52078.

ЗАГРУЗКА ЛЕСОУСТРОИТЕЛЬНОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ В ГИС: ПРОБЛЕМЫ И РЕШЕНИЯ

LOADING FOREST MANAGEMENT DOCUMENTATION INTO GIS: PROBLEMS AND SOLUTIONS

***Аннотация:** Лесоуправляющая документация играет важную роль в управлении лесными ресурсами. Однако интеграция этих данных в геоинформационные системы (ГИС) сопряжена с рядом сложностей, включая несовместимость форматов и отсутствие единых справочников. В статье рассмотрены основные проблемы загрузки лесопромышленных данных в ГИС и предложены методы их решения, основанные на автоматизации процессов с использованием алгоритмов сопоставления данных и преобразования форматов.*

***Abstract:** Forest management documentation plays an important role in forest resource management. However, the integration of these data into geographic information systems (GIS) is associated with a number of difficulties, including format incompatibility and the lack of unified reference books. The article examines the main problems of loading forest management data into GIS and proposes methods to solve them based on the automation of processes using data comparison and format conversion algorithms.*

***Ключевые слова:** ГИС, лесопромышленная документация, кадастровое описание, автоматизация, формат данных, Python, SQL.*

***Key words:** GIS, forest management documentation, taxation description, automation, data format, Python, SQL.*

Введение

Геоинформационные системы (ГИС) играют ключевую роль в лесном хозяйстве, обеспечивая управление лесными ресурсами, мониторинг состояния лесов и принятие решений. ГИС повышает точность работы, включая создание картографических баз данных и пространственный анализ. Интеграция данных дистанционного зондирования, таких как спутниковые изображения, также улучшает учет лесных ресурсов [1].

Однако интеграция лесопромышленных данных остается актуальной проблемой. Данные должны не только быть правильно привязаны геогра-

фически, но и соответствовать требованиям различных программных комплексов, что затрудняет загрузку и обработку информации [2]. В условиях отсутствия универсальных решений и разрозненности программных комплексов для лесного хозяйства в России, интеграция данных становится проблемой [3].

В последние годы разрабатываются методы и алгоритмы для автоматизации загрузки и актуализации лесоустроительных данных, что повышает эффективность работы с большими объемами информации [2]. Однако разнообразие форматов и программных решений продолжает создавать трудности для специалистов. Многие решения не обеспечивают комплексной информатизации, что снижает эффективность работы лесных предприятий [3].

Цель статьи — рассмотреть проблемы загрузки лесоустроительной документации в ГИС и предложить решения для повышения эффективности этого процесса, а также анализировать роль цифровых технологий в обновлении и интеграции лесоустроительных данных.

1. Лесоустроительная документация

Лесоустроительная документация отражает текущее состояние лесного фонда и включает проекты лесничеств, таксационные описания, планы охраны лесов. Она является основой управления лесными ресурсами и устойчивого лесопользования.

1.1 Применение ГИС в лесоустройстве. ГИС обеспечивают сбор, анализ и обновление данных лесного фонда, контроль за эксплуатацией лесов и мониторинг их состояния. Они автоматизируют камеральные работы, включая обработку данных в специализированных программах, векторизацию карт и интеграцию данных дистанционного зондирования, таких как спутниковые снимки и аэрофотосъемка [4, 5]. Это повышает точность картографических материалов и снижает трудозатраты.

ГИС позволяют создавать цифровые лесоустроительные карты с данными о границах участков, породном составе и возрастной структуре насаждений. Оцифровка бумажных планшетов с привязкой к спутниковым снимкам обеспечивает их актуальность [4]. Автоматизированный анализ данных помогает выявлять закономерности и прогнозировать изменения лесного фонда.

1.2 Актуализация лесоустроительной документации. Более 60% лесоустроительных материалов в России не обновлялись свыше 20 лет, что затрудняет учет и планирование. Цифровизация процесса с применением реляционных баз данных и алгоритмов повышает точность и скорость актуализации данных [2]. Опыт внедрения таких технологий в регионах подтверждает их эффективность.

1.3 Проблемы интеграции данных. Отсутствие единого формата данных и стандартов программного обеспечения затрудняет работу с лесоустроительными материалами. В России нет универсальных решений для интеграции данных из разных источников, что требует ручной адаптации и

снижает точность результатов [3]. Разработка единого стандарта обеспечит совместимость всех информационных систем лесного хозяйства.

1.4 Стандарты и нормативно-правовые акты. Создание лесоустроительной документации регулируется законодательством:

- Федеральный закон "О лесах" (№ 200-ФЗ от 04.12.2006) [6], регулирующий лесной кадастр и учет ресурсов.
- Лесоустроительная инструкция [7], устанавливающая порядок разработки лесоустроительных проектов и требования к их содержанию.

2. Роль ГИС в управлении лесами

ГИС играют ключевую роль в лесопользовании, обеспечивая инструменты для пространственного анализа, картографирования и мониторинга состояния лесных ресурсов. Их интеграция позволяет оптимизировать управление, снижать затраты на инфраструктуру и планировать мероприятия по лесовосстановлению. Как отмечают В.И. Незамов и Д.В. Трофимов, использование ГИС упрощает систематизацию данных об арендованных лесах, повышая прозрачность хозяйственной деятельности [8].

2.1 Функции ГИС: картографирование, мониторинг, контроль

Основной функцией ГИС является картографирование лесных массивов, включая данные о таксационных характеристиках, типах почв и возрастной структуре. А.С. Брежунов утверждает, что цифровая картография на основе ГИС значительно повысила точность данных и упростила их обновление [4].

Мониторинг лесов с использованием данных дистанционного зондирования, например, спутниковых снимков, позволяет оперативно фиксировать вырубки и последствия лесных пожаров. ГИС также ведут учет рубок и лесовосстановления, обеспечивая устойчивое лесопользование.

2.2 Необходимость загрузки лесоустроительных данных в ГИС

Эффективность ГИС зависит от качества загружаемых данных. Ю.Н. Миронова подчёркивает, что интеграция лесоустроительных карт и таксационных описаний с ГИС минимизирует влияние человеческого фактора и автоматизирует процессы управления лесами [1]. Для полноценного использования системы важно адаптировать данные к единым стандартам, создавая единую базу информации о лесах, восстановлении, инфраструктуре и рубках [8].

3. Перенос данных

Ключевым аспектом применения ГИС в лесном хозяйстве является загрузка лесоустроительных данных. Интеграция карт и таксационных описаний с ГИС позволяет автоматизировать процессы и минимизировать человеческий фактор. Однако этот процесс сопряжён с проблемами, такими как несовместимость форматов, отсутствие единой классификации и различные требования программных комплексов. Загрузка данных требует приведения их к единому стандарту, что включает конвертацию координат

натных систем, перекодирование атрибутов и устранение дублирующих записей.

3.1 Основные проблемы загрузки данных

Загрузка лесоустроительных данных в ГИС осложняется рядом технических и организационных проблем:

- Разнообразие форматов данных. Лесоустроительные материалы представлены в разных форматах, требующих предварительной обработки перед загрузкой.
- Разрозненность источников информации. Данные поступают от различных ведомств, что затрудняет их интеграцию.
- Отсутствие автоматизированных решений. Подготовка данных часто осуществляется вручную, что увеличивает вероятность ошибок и замедляет процесс.
- Проблемы географической привязки. Различия в координатных системах и методах картографирования приводят к погрешностям.

Эти проблемы усложняют процесс загрузки и использования данных в ГИС, требуя разработки инструментов для автоматизированной обработки.

3.2 Методы решения проблем загрузки данных

Для решения этих проблем могут быть применены следующие методы:

- Стандартизация форматов данных. Внедрение единых стандартов (например, GeoJSON, SHP) и классификаторов.
- Автоматизация обработки данных. Использование специализированных инструментов для конвертации и интеграции данных.
- Создание единого хранилища данных. Разработка централизованных баз данных для обеспечения доступа к актуальной информации.

4. Алгоритм переноса данных

Процесс переноса лесоустроительных данных в ГИС включает подготовку данных, их преобразование, сопоставление атрибутов, автоматизированную обработку и загрузку в систему.

Этап 1. Подготовка исходных данных

Получены:

- Векторный слой с полигонами лесных выделов (MID/MIF, 250 атрибутивных полей).

- Таксационное описание лесных выделов в PDF.

Векторный слой разделен на два файла:

Геометрия (shp) – для пространственных данных.

Атрибутивная информация (xlsx) – для загрузки в MS SQL Server.

Этап 2. Сопоставление атрибутивной информации

Таксационное описание содержало читаемую информацию, в xlsx использовались кодированные значения. Для загрузки в ГИС выполнялась перекодировка. Пример:

- В xlsx категория земель – "110100".

- В таксационном описании – "запретные полосы лесов вдоль водных объектов".

- В ГИС – "2".

Так же были сопоставлены повреждения, категория лесов и другие характеристики. Для автоматизации процесса созданы таблицы сопоставления с кодами, описаниями и значениями для ГИС.

Этап 3. Автоматизированная обработка данных

Данные из xlsx обрабатывались с помощью Python-скриптов:

- Перекодировка значений.
- Замена разделителей в дробных числах.
- Применение арифметических преобразований.

Этап 4. Формирование SQL-запросов

После обработки данные дополнялись SQL-запросами вида:

```
INSERT INTO [LESFOND].[dbo].[Выдела] ([Код], [LESN_CODE],  
[KVARTAL], [vydel], [Categ], [square], ...)  
VALUES (12345, 42, 7, '2', 15.4, ...);
```

Запросы формировались автоматически.

Этап 5. Загрузка данных в ГИС

Включал:

- Загрузку векторного слоя (shp) в ГИС.
- Запуск SQL-запросов для загрузки и привязки данных к пространственным объектам.

После выполнения запросов данные корректно отображались в ГИС.

Этот алгоритм автоматизировал процесс загрузки данных, исключив ошибки ручного ввода и обеспечив корректное отображение информации в ГИС.

5. Проблемы загрузки данных в геоинформационные системы

Загрузка данных в ГИС может сопровождаться проблемами, связанными с различиями в структурах данных, несовместимостью справочников и отсутствием единой системы кодировки данных. Рассмотрим эти проблемы и примеры на практике.

5.1. Отсутствие единой системы кодировки данных

Применение разных справочников в ГИС приводит к необходимости вручную сопоставлять значения, увеличивая трудозатраты и вероятность ошибок. Например:

- Леса в водоохраных зонах могут быть закодированы как "120900" или "110100".
- Запретные полосы лесов вдоль водных объектов могут быть закодированы как "110100" или "120601".
- Нерестовоохранные полосы лесов могут быть закодированы как "110200" или "120602".
- Проходные рубки могут быть закодированы как "1443" или "1441".
- Сезонность дороги может варьироваться (зимняя, круглогодичная, летняя дороги в разных справочниках могут иметь разные коды).

5.2. Различия в структуре данных

Различия в структуре данных между ГИС также создают проблемы. Разные форматы хранения информации и использование различных атрибутов для описания одних и тех же характеристик делают перенос данных сложным. Например, данные о состоянии лесного массива могут быть представлены как текст или числовые значения, что требует преобразования и увеличивает риск ошибок.

Перечисленные различия затрудняют автоматическую обработку данных, требуя дополнительных шагов для приведения к единому формату.

Проблемы загрузки данных в ГИС являются важным аспектом разработки таких систем. Для минимизации трудностей необходимо разработать стандарты кодировки и использовать единые справочники.

6. Перспективы развития системы загрузки данных

Загрузка данных в ГИС играет ключевую роль в управлении лесными ресурсами, обеспечивая точность и актуальность лесоустроительных данных. В условиях цифровизации лесного хозяйства, развитие таких систем становится важным шагом для повышения эффективности учета лесных ресурсов. Основные направления развития системы загрузки данных включают улучшение алгоритмов обработки и автоматизацию разборки документов.

Одной из проблем является работа с исходными документами в форматах PDF и DOCX, содержащими важные данные, такие как таксационные описания и характеристики деревьев. Для извлечения данных из таких файлов предполагается использование Python, что ускорит процесс загрузки, повысит точность и обеспечит возможность корректировки вручную. Для обработки данных из PDF/DOCX возможно использование библиотек pdfplumber или PyMuPDF, а для работы с базами данных – SQLAlchemy или Pandas. Привязка данных к векторным объектам будет осуществляться по минимальным атрибутам, например, наименованию лесничества или номеру квартала и выдела.

Также необходимо усовершенствование алгоритмов автоматического сопоставления кодировок, поскольку различные справочники используют разные коды для одних и тех же характеристик (например, для породы деревьев). Разработка таких алгоритмов позволит автоматизировать процесс сопоставления кодировок, что сократит время обработки данных и снизит количество ошибок.

7. Заключение

В процессе исследования были выявлены ключевые проблемы загрузки данных, такие как несовместимость форматов и отсутствие стандарта для интеграции информации. Решения для автоматической обработки данных и улучшение алгоритмов сопоставления кодировок позволят ускорить загрузку, повысить точность данных и минимизировать ошибки.

Также важно развивать стандарты для лесоустроительных данных, что улучшит взаимодействие между системами.

Ожидается, что внедрение этих решений повысит эффективность лесного хозяйства и устойчивость лесного управления. Кроме того, стандартизация процессов обеспечит более надежную аналитику, облегчит принятие управленческих решений и создаст основу для дальнейшей цифровизации отрасли.

Библиографический список

1. Миронова, Ю. Н. Использование геоинформационных систем в лесном хозяйстве и лесной промышленности / Ю. Н. Миронова // Отходы и ресурсы. — 2022. — Т. 9. — № 1. — URL: <https://mir-nauki.com/PDF/04ITOR122.pdf> DOI: 10.15862/04ITOR122
2. Алгоритм актуализации лесоустроительной информации и его апробация в Воронежской области / А. В. Мироненко, С. М. Матвеев, В. А. Славский [и др.] // Труды Санкт-Петербургского научно-исследовательского института лесного хозяйства. — 2022. — № 4. — С. 85-98. — DOI 10.21178/2079-6080.2022.4.85. — EDN EXEILT.
3. Программное обеспечение в лесном хозяйстве и при лесозаготовках / А. Н. Заикин, В. В. Сиваков, В. В. Никитин, А. А. Брионес // Лесной вестник. Forestry Bulletin. — 2023. — Т. 27, № 4. — С. 172-184. — DOI 10.18698/2542-1468-2023-4-172-184. — EDN FYNYYY.
4. Брехунов, А. С. ГИС - технологии в лесоустройстве / А. С. Брехунов // Инновационные тенденции развития российской науки: Материалы XIV Международной научно-практической конференции молодых ученых, Красноярск, 07–09 апреля 2021 года. Том Часть II. — Красноярск: Красноярский государственный аграрный университет, 2021. — С. 79-81. — EDN FSREBY.
5. Сучков, Д. К. Геоинформационные технологии в лесном секторе / Д. К. Сучков // Успехи современного естествознания. — 2023. — № 1. — С. 69-73. — DOI 10.17513/use.37987. — EDN YVENQK.
6. "Лесной кодекс Российской Федерации" от 04.12.2006 N 200-ФЗ (ред. от 26.12.2024) (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.01.2025)
7. Приказ Минприроды России от 05.08.2022 N 510 "Об утверждении Лесоустроительной инструкции" (Зарегистрировано в Минюсте России 30.09.2022 N 70328)
8. Незамов, В. И. Использование ГИС-технологий в целях рационального лесопользования и систематизации данных / В. И. Незамов, Д. В. Трофимов // Современные тенденции развития землеустройства, кадастров и геодезии: Материалы Всероссийской научной конференции, приуроченной к 30-летию Института землеустройства, кадастров и природоустройства, Красноярск, 15 марта 2022 года. — Красноярск: Красноярский государственный аграрный университет, 2022. — С. 101-105. — EDN USWNKT.

И.Д. Бажунов, студент
Кафедра информационных систем и технологий
СПбГЛТУ им. С. М. Кирова
ilya.bazhunov@gmail.com

А.А. Мокринский, студент
Кафедра информационных систем и технологий
СПбГЛТУ им. С. М. Кирова
a.a.mokrinsky@gmail.com

А.К. Бойцов, ассистент
Кафедра робототехнических систем и интеллектуальных технологий
СПбГЛТУ им. С. М. Кирова
A.K.Boitsov@yandex.ru

РАЗРАБОТКА АРХИТЕКТУРЫ СИСТЕМЫ ДИСТАНЦИОННОГО МОНИТОРИНГА ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМ

DEVELOPMENT OF THE ARCHITECTURE OF A FOREST ECOSYSTEM REMOTE MONITORING SYSTEM

Аннотация: Разработка системы дистанционного мониторинга лесных экосистем направлена на интеграцию сенсорных узлов в единую сеть для сбора, обработки и визуализации данных в реальном времени. В статье проводится анализ существующих решений, таких как проекты Enviro-Net, «Лесной дозор» и национальный проект «РИТМ углерода», а также их ограничений, включая низкую энергоэффективность, узкую область применения и сложность интеграции данных. Предложенная система использует микроконтроллеры ESP32 и ESP8266, обеспечивающие стабильную и энергоэффективную передачу данных в условиях лесной среды. Разработана кластерная архитектура, учитывающая требования к надежности, масштабируемости и эффективному обмену данными. Система направлена на повышение точности мониторинга и оперативное обнаружение экологических угроз, что делает её важным инструментом для управления лесными экосистемами.

Abstract: The development of a remote monitoring system for forest ecosystems aims to integrate sensor nodes into a unified network for real-time data collection, processing and visualization. The paper analyzes existing solutions such as Enviro-Net, Forest Watch and the national carbon RITM project and their limitations including low energy efficiency, narrow application area and complexity of data integration. The proposed system utilizes ESP32 and ESP8266 microcontrollers that provide stable and energy efficient data transmission in forest environment. A cluster architecture is

developed to address the requirements of reliability, scalability and efficient data communication. The system aims to improve monitoring accuracy and prompt detection of environmental threats, which makes it an important tool for forest ecosystem management.

Ключевые слова: *дистанционный мониторинг, лесные экосистемы, система дистанционного мониторинга, сенсорные узлы, ESP32, ESP8266, кластерная архитектура, обработка данных, экосистема, архитектура.*

Keywords: *remote monitoring, forest ecosystems, remote monitoring system, sensor nodes, ESP32, ESP8266, cluster architecture, data processing, ecosystem, architecture.*

Развитие цифровых технологий и дистанционных систем мониторинга способствует автоматизации процессов сбора и анализа данных, что важно для мониторинга и управления природными ресурсами. Использование современных технологий, позволяет интегрировать сенсоры и устройства для сбора данных в реальном времени. Важным аспектом систем мониторинга является обеспечение достоверности собираемых данных для анализа влияния антропогенных факторов с учетом динамики изменений и проведения комплексной оценки устойчивости лесных экосистем.

Среди существующих решений можно выделить проект Enviro-Net, разработанный учеными Университета Альберты (Канада) [1]. Система использует сеть беспроводных сенсоров для мониторинга лесных экосистем, измеряя параметры, такие как влажность почвы, температура, уровень освещенности и концентрация парниковых газов. Однако у системы имеются ограничения, включая низкую энергоэффективность сенсорных узлов и устаревшую инфраструктуру передачи данных, что замедляет обработку информации и снижает оперативность реагирования.

В контексте российских проектов следует отметить систему «Лесной дозор» [2], которая ориентирована на оперативный мониторинг угроз возгораний. Несмотря на эффективность в обнаружении лесных пожаров, функциональные возможности этой системы ограничены исключительно этой задачей, что не позволяет учитывать широкий спектр других важных экологических параметров.

Также развиваются системы наблюдения за потоками парниковых газов, например, национальный проект «РИТМ углерода» [3]. В рамках проекта создается сеть исследовательских площадок, использующие данные дистанционного зондирования, наземных измерений и математического моделирования. Разработка требует значительных временных и финансовых ресурсов. На данный момент проект находится на стадии реализации и основан на ручном сборе данных, что исключает возможность их оперативного использования в реальном времени для принятия управленческих решений.

Существующие решения в области мониторинга лесных экосистем обладают высокой степенью автоматизации, однако их функциональные возможности ограничены и не обеспечивают комплексного подхода к анализу экологических данных. Для создания эффективной системы мониторинга необходима интеграция данных из различных источников и разработка архитектуры, которая обеспечит масштабируемость, совместимость и надежность [4].

Цель работы — разработка архитектуры системы дистанционного мониторинга лесных экосистем, включающей интеграцию сенсорных узлов в единую сеть, эффективные методы передачи и обработки данных, а также средства визуализации информации в реальном времени для принятия обоснованных управленческих решений.

В первую очередь необходимо определить оптимальный состав аппаратных компонентов, обеспечивающих надёжную передачу данных в условиях лесной среды. Аппаратная часть системы мониторинга включает использование микроконтроллеров ESP32 и ESP8266 с высокой степенью интеграции компонентов и поддержкой беспроводной технологии Wi-Fi (рисунок 1). Эти микроконтроллеры обеспечивают сбалансированное соотношение производительности, низкое энергопотребление и высокую функциональность. Характеристики микроконтроллеров напрямую влияют на стабильность сигнала и его дальность, что важно в условиях леса [5].

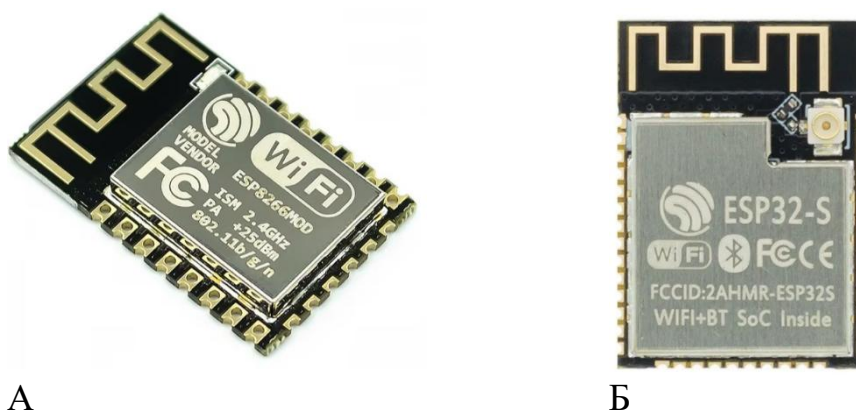


Рис.1. - Аппаратные компоненты системы мониторинга: микроконтроллер ESP8266 – рис. А, микроконтроллер ESP32 – рис. Б

Встроенная поддержка Wi-Fi делает микроконтроллеры ESP32 и ESP8266 оптимальными для применения в системах мониторинга, требующих надёжной беспроводной передачи данных. Дальность передачи данных для ESP8266 в открытых пространствах варьируется от 100 до 200 метров, но в условиях леса, где имеются физические преграды, сокращается до 50 метров. ESP32, благодаря улучшенной антенне, обеспечивает дальность передачи до 300 метров в открытых пространствах и около 100 метров в лесной среде [6].

Для обеспечения стабильной работы системы мониторинга лесных массивов авторами предложена кластерная архитектура с топологией

«звезда». Благодаря высокой надежности подобранной архитектуры, выход из строя отдельного узла не приводит к нарушению функционирования системы, поскольку вычислительная нагрузка перераспределяется на резервные узлы кластера [7].

Структура кластера, в контексте распределения датчиков по участку леса, представлена в виде группы вычислительных узлов, предназначенных для параллельной обработки данных (рисунок 2).

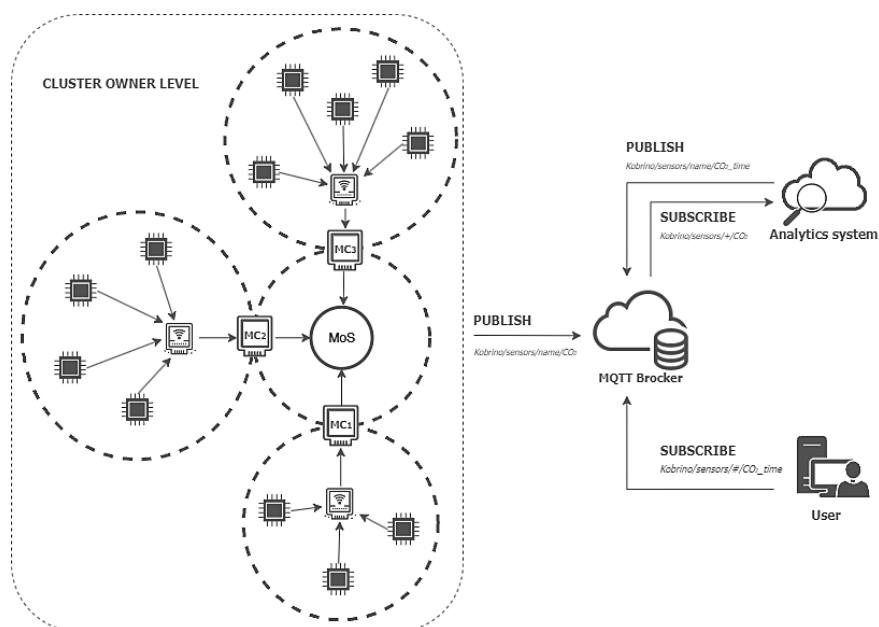


Рис. 2. - Схема системы мониторинга лесных массивов с применением кластерной архитектуры

Аппаратная структура сенсорного комплекса включает ряд компонентов: датчики, коммуникационные модули, мастер датчик и MQTT-брокер. Датчики, размещенные в кластерах нижнего уровня и оснащенные микроконтроллерами ESP8266, поддерживают режим глубокого сна, что способствует снижению энергопотребления и увеличению срока службы.

Каждый кластер нижнего уровня имеет коммуникационный модуль (CMj), отвечающий за прием данных от датчиков и передачу на центральный узел с использованием микроконтроллера ESP32. Мастер датчик (MoS) является вычислительным модулем системы, обеспечивает централизованное управление кластером. В составе MoS используется микроконтроллер ESP32 с дополнительными модулями связи и расширенным объемом памяти. MoS принимает данные от коммуникационных модулей, и публикует на внутреннее хранилище облачного MQTT-брокера. В соответствии с уровнем обслуживания QoS 1 (Quality of Service), брокер подтверждает прием публикации от мастер-датчика и передает сообщения устройствам, подписанным на определенный список тем. Клиентами MQTT-брокера являются как операторы системы мониторинга, так и аналитические системы обработки данных.

Для визуализации полученных данных и управления параметрами системы мониторинга реализован графический пользовательский интер-

фейс, предоставляющий клиенту необходимые инструменты для анализа информации (рисунок 3).

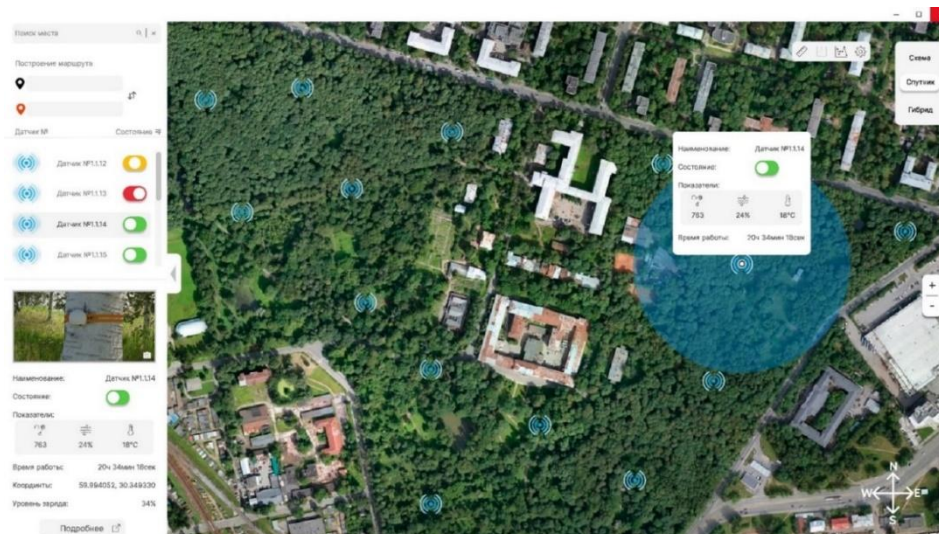


Рис. 3. - Панель графического пользовательского интерфейса веб-приложения

Данный интерфейс позволяет оператору легко просматривать и контролировать различные параметры и статусы датчика в доступном визуальном виде, а дополнительные функции, такие как поиск местоположения, построение маршрута и сортировка данных, помогают структурировать информацию и быстро просматривать нужные показатели с датчиков [8].

Система дистанционного мониторинга лесных экосистем, разработанная на основе вышеизложенных решений, обеспечивает интегрированный подход к сбору, обработке и визуализации данных в реальном времени. Это повышает точность мониторинга и обеспечивает своевременное обнаружение экологических угроз. Сравнение с существующими решениями показывает, что предложенная система обладает более высокой функциональностью и надежностью, что делает её важным инструментом для управления лесными экосистемами.

Таким образом, разработка системы дистанционного мониторинга лесных экосистем, основанной на современных цифровых технологиях и эффективной архитектуре, является необходимым шагом для повышения качества мониторинга и управления природными ресурсами. Будущие исследования направлены на усовершенствование алгоритмов обработки данных и интеграцию системы с другими платформами для более комплексного анализа экосистем.

Библиографический список

1. Sanchez-Azofeifa, Gerardo & Castro, Saulo & Laakso, Kati & Sawchyn, Monica. (2018). Real-time monitoring of water fluxes using Enviro-Net and IBM Streams® analytics.
2. Кейн, О. П. Обнаружение лесных пожаров с помощью системы "Лесной дозор" в Республике Мордовия / О. П. Кейн, И. В. Климова // Энерго-

- эффективные и ресурсосберегающие технологии и системы: МЕЖВУЗОВСКИЙ СБОРНИК НАУЧНЫХ ТРУДОВ. – Саранск: Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва, 2017. – с. 675-681. – EDN UPLPAA.
3. Картографирование запасов почвенного органического углерода пилотных регионов в рамках работы консорциума "ритм углерода" / А. С. Плотникова, Н. В. Гопп, Ю. Л. Мешалкина [и др.] // Леса России: политика, промышленность, наука, образование: Материалы IX Всероссийской научно-технической конференции, Санкт-Петербург, 22–24 мая 2024 года. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет им. С.М. Кирова, 2024. – с. 105-107. – EDN BWLNYC.
 4. Singh R. et al. Forest 4.0: Digitalization of forest using the Internet of Things (IoT) //Journal of King Saud University-Computer and Information Sciences. – 2022. – Т. 34. – №. 8. – С. 5587-5601.
 5. Rendeiro P. et al. Performance Evaluation of ESP32 in Outdoor Links //Anais do XL Simpósio Brasileiro de Telecomunicações e Processamento de Sinais. – 2022.
 6. Мокринский, А. А. Оптимизация энергопотребления автономной системы мониторинга углекислого газа (Co₂) в удалённых лесных зонах с использованием беспроводной передачи данных / А. А. Мокринский, И. Д. Бажунов, А. К. Бойцов // Актуальные вопросы лесного хозяйства: Материалы VIII международной молодежной научно-практической конференции, Санкт-Петербург, 21–22 ноября 2024 года. – Санкт-Петербург: ООО "Реноме", 2024. – с. 164-168. – EDN VYNURK.
 7. Mokrinsky A. A., Bazhunov I. D., Boitsov A. K. The Influence of Forest Stand Parameters on Radio Signal Strength in Forested Environments //2024 Dynamics of Systems, Mechanisms and Machines (Dynamics). – IEEE, 2024. – с. 1-5.
 8. Петров, Н. С. Архитектура кластерной системы сбора и обработки информации датчиков динамических объектов / Н. С. Петров // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2013. – № 11(148). – с. 225-231. – EDN RLEFHF.
 9. Мокринский, А. А. Разработка графического пользовательского интерфейса веб-приложения аппаратно-программного комплекса / А. А. Мокринский, И. Д. Бажунов, А. К. Бойцов // Информационные технологии и автоматизация управления: Материалы XIV Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов, работников образования и промышленности, Омск, 26–27 мая 2023 года / Отв. редактор А.В. Никонов. – Омск: Омский государственный технический университет, 2023. – с. 145-150. – EDN PIOLFY.

Г.И. Базир, кандидат технических наук, доцент
кафедра общепрофессиональных дисциплин
Военная академия связи имени С.М. Буденного
vas.2kaf@mil.ru

П.И. Кузин, кандидат технических наук, доцент
кафедра информационных систем и технологий
СПбГЛТУ имени С.М. Кирова
kuzik78@mail.ru

Е.И. Кузина, преподаватель
кафедра общепрофессиональных дисциплин
Военная академия связи имени С.М. Буденного
vas.2kaf@mil.ru

М.Е. Скрипников, курсант
Военная академия связи имени С.М. Буденного
vas.2kaf@mil.ru

ПОЭТАПНАЯ АДАПТАЦИЯ ЛИНИЙ СВЯЗИ КАК СРЕДСТВО ПОВЫШЕНИЯ ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТИ

STEP-BY-STEP ADAPTATION OF COMMUNICATION LINES AS A MEANS TO IMPROVE NOISE IMMUNITY

Аннотация: представленные в статье материалы позволяют решить задачу адаптивного поэтапного прогнозирования уровней помех на основе априорных данных, полученных в ходе статистического анализа загрузки радиочастотного спектра.

Abstract: in the materials presented in the paper allow solving the problem of adaptive step-by-step forecasting of interference levels based on a priori data obtained during statistical analysis of radio spectrum loading.

Ключевые слова: помехоустойчивость, адаптивное прогнозирование, своевременность, достоверность информации, параметр выборочного сглаживания.

Key words: noise immunity, adaptive forecasting, timeliness, information reliability, sampling smoothing parameter.

Введение.

Большое разнообразие форм и методов адаптации в системах радиосвязи, определяет необходимость рассмотрения таких систем как систем с поэтапной адаптацией [1, 2].

Задача.

Обеспечить помехоустойчивость многоэтапной адаптивной системы и за счет применения модели помехоустойчивости линий связи.

Решение.

В результате анализа моделей и методов прогнозирования можно сделать вывод о том, что для достижения минимальных ошибок прогнозирования алгоритмы должны иметь самоприспосабливающуюся структуру, т.е. быть адаптивными [3, 4].

Цикл прогноза будет осуществляться в четыре этапа. На первом этапе будет осуществляться измерение уровней помех на каждой из анализируемых частот и построение временного ряда для осуществления прогноза.

На втором этапе будет происходить, «обучение», заключающееся в установлении параметра выборочного сглаживания, параметров модели авторегрессии, выбор параметров прогнозирования $\bar{x}_T$ или $\bar{x}_T + \sigma$ для модели экспоненциального сглаживания. Дополнительно на этапе «обучения» будет осуществляться изменение параметров сглаживания α и длительности анализа параметров, т.е. изменение времени статистической оценки $\bar{x}_T$ и $\bar{x}_T + \sigma$ - длительности предыстории. Длительность будет варьироваться, допустим, в интервале T_r , где $r = \overline{1, R}$, что даст осуществить статистическую оценку.

Итогом первого этапа «измерения и построения ряда» и второго этапа «обучения» – будет выбор используемой модели прогнозирования по критерию минимума стандартной ошибки на интервале прогноза, с учетом уравнения тренда и параметра модели авторегрессии и коэффициента сглаживания α . Третий этап функционирования – «рабочий». Этап, на котором осуществляется прогнозирование уровня помех на данной частоте с выбранной моделью прогнозирования. т.е. по итогам «обучения» в процессе «рабочего» этапа осуществляется расчет прогнозного значения уровня помех на заданное время вперед. Для модели экспоненциального сглаживания выходным параметром является значение, представляющее собой сумму среднего значения спрогнозированных на горизонте прогноза и среднеквадратического отклонения уровней помех при сложной сигнально-помеховой обстановке. Четвертым этапом является «контрольный» этап. На этом этапе производится оценка результатов этапа «обучения» на основании данных, получаемых во время ведения связи.

При декомпозиции сложного процесса многоступенчатой адаптации на частные подпроцессы отдельной ступенью необходимо выделять многоэтапную адаптацию. Последовательность выполнения расчета показателя адаптации можно представить схемой (рисунок 1).

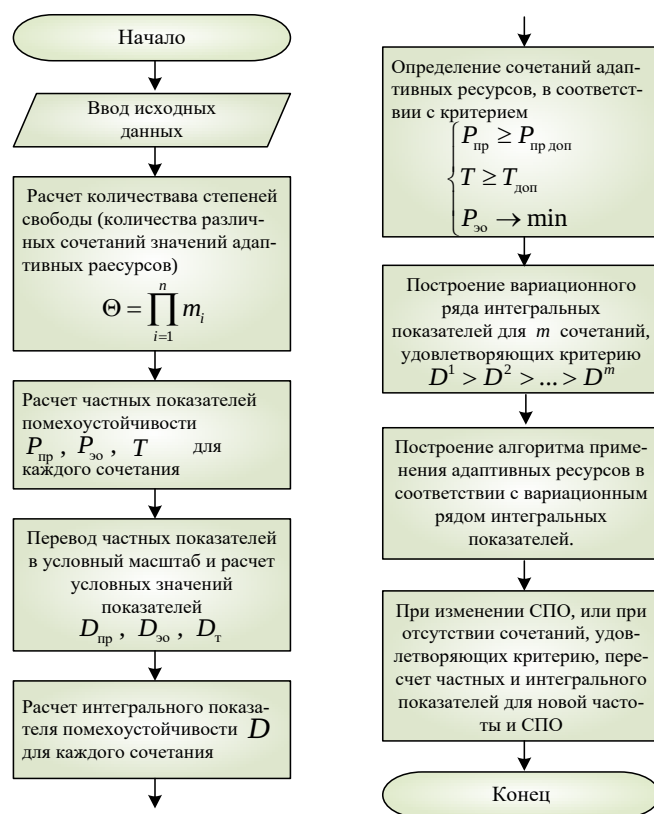


Рис. 1. - Последовательность расчета показателя помехоустойчивости

Заключение.

Помехоустойчивость линий связи с применением адаптивного поэтапного прогнозирования уровня помех и параметра выборочного сглаживания обеспечивает снижение значения ошибки прогнозирования, что обеспечит прием информации с заданной достоверностью.

Библиографический список

1. Липатников, В. А. Панкин А. А., Кузин П. И., Земцев И. В. Метод повышения надежности помехозащищенности при приеме информации в системах радиосвязи КВ и УКВ диапазонов // Телекоммуникации. – 2014. – № 5. – С. 27-31.
2. Кузин П.И., Липатников В.А., Макаренко В.П., Шевченко А.А., Способ адаптивного радиоконтроля с прогнозированием параметров радиоканала в УВЧ диапазоне. Сборник материалов МНТК "Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании". Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича. 2020, С. 451-455.
3. Кузин П.И., Липатников В.А., Метод повышения оперативности смены параметров адаптации, при приеме информации в системах радиосвязи КВ-УКВ диапазонов. // Научный журнал «Автоматизация процессов управления». 2016. №4 (46). С.18-22
4. Липатников В.А., Кузин П.И., Рабин А.В. Метод повышения надежности помехозащищенности при приеме информации в системах радио-

связи СВЧ, КВЧ диапазонов Радиотехника. 2020. Т. 84. № 8 (16). С. 5-12.

А.В. Белов, кандидат технических наук, доцент
Кафедра информационных систем и программной инженерии
БГТУ «ВОЕНМЕХ» им Д.Ф. Устинова
belov-a.v@mail.ru

М.В. Виноградов, студент
Кафедра информационных систем и программной инженерии
БГТУ «ВОЕНМЕХ» им Д.Ф. Устинова
vava_60@mail.ru

РАЗРАБОТКА БАЗЫ ДАННЫХ ПРИЛОЖЕНИЯ ПО ЛОГИСТИЧЕСКОМУ УЧЕТУ

DEVELOPMENT OF A DATABASE FOR A LOGISTICS ACCOUNTING APPLICATION

***Аннотация:** в статье рассматривается процесс разработки базы данных для системы логистического учёта, которая играет ключевую роль в повышении операционной эффективности, снижении издержек и улучшении качества данных в логистических компаниях. Описаны этапы создания базы данных, включая анализ требований, разделение на сущности, проектирование отношений, триггеров и процедур.*

***Abstract:** the paper discusses the process of developing a database for a logistics accounting system, which plays a key role in increasing operational efficiency, reducing costs and improving data quality in logistics companies. The stages of database development are described, including analysing requirements, partitioning into entities, designing relationships, triggers and procedures.*

***Ключевые слова:** логистический учёт, база данных, проектирование, триггеры, процедуры, автоматизация, оптимизация процессов, производительность.*

***Keywords:** logistics accounting, database, design, triggers, procedures, automation, process optimisation, productivity.*

Введение.

Эффективная система логистического учета позволяет компаниям не только повысить операционную эффективность, но и снизить издержки, улучшить точность данных и ускорить принятие управленческих решений. В условиях быстрого развития информационных технологий особенно

важным становится использование специализированных программных решений для автоматизации логистических процессов, включая создание базы данных для логистического учета [2].

Задача.

Задачей данной работы является разработка базы данных для логистического учета, которая обеспечит удобный и функциональный интерфейс для пользователей, а также эффективное взаимодействие с серверными системами.

Решение.

Для решения поставленной задачи необходимо произвести анализ требований. На этом этапе проводится детальный анализ функциональных и нефункциональных требований к базе данных, исходя из задач приложения. Это включает в себя: определение всех данных, которые необходимо хранить, выяснение, какие данные будут использоваться пользователями приложения, и какие операции будут над ними выполняться, оценка требований к производительности, безопасности и масштабируемости базы данных.

Вторым этапом является разделение на сущности и выбор необходимых сущностей. На данном этапе определяется, какие сущности будут составлять основу базы данных. Для этого: выделяются основные сущности, каждой сущности приписываются атрибуты, которые будут храниться в базе данных, далее производится оценка отношений между сущностями.

Третьим этапом является проектирование отношений. На этом этапе проектируются связи между сущностями базы данных: определяются типы связей между сущностями, создаются внешние ключи для обеспечения ссылочной целостности между таблицами.

Четвертым этапом является проектирование триггеров. Триггеры используются для автоматического выполнения определённых действий в базе данных при наступлении определённых событий. На этом этапе разрабатываются триггеры для контроля за целостностью данных, определяются триггеры для логирования операций в базе данных, разрабатываются триггеры для обеспечения бизнес-логики.

Пятым этапом является проектирование процедур. Процедуры – это заранее определённые наборы SQL-операций, которые выполняются при вызове [2]. Они могут включать в себя сложные запросы, обновления и манипуляции с данными. На этом этапе проектируются хранимые процедуры для выполнения часто повторяющихся операций, разрабатываются процедуры для обработки ошибок и исключений.

Заключение.

Разработка базы данных будет поддерживать стабильную работу приложения, обеспечивать быструю обработку данных и позволять пользователю эффективно управлять логистическими процессами. В конечном счёте, грамотно спроектированная база данных является ключевым эле-

ментом, который способствует успешной автоматизации и оптимизации логистического учёта, повышая производительность и сокращая затраты организаций.

Библиографический список

1. В. В. Лохмотко Модели и методы оптимизации структуры телекоммуникационных сетей: диссертация доктора технических наук: 05.12.14. - Санкт-Петербург, 1998.- 301 с.: ил. РГБ ОД, 71 00-5/113-6.
2. А. А. Андреев, А. И. Шабаев, Модели и методы описания структуры локальной вычислительной сети при неполных данных, Информатика и автоматизация, 2021, выпуск 20, том 1, 160–180.

Р. М. Бобровская, генеральный директор
ООО «Авто Миракл РУС»
rita.bobrovskaya@automiracle.ru

АНАЛИЗ ПОТЕРИ ЛЕСОПОКРЫТОЙ ПЛОЩАДИ ЦЕНТРАЛЬНОЙ АФРИКИ ПО МАТЕРИАЛАМ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ

ANALYSIS OF FOREST AREA LOSS CENTRAL AFRICA BASED ON REMOTE SENSING

Аннотация: *Статья представляет собой анализ потери лесопокрываемой площади в Центральной Африке, основанный на данных дистанционного зондирования Земли и материалах web-картографии. В работе подчеркивается необходимость комплексного подхода к решению проблемы обезлесения, включающего устойчивое лесопользование, развитие экологически чистого сельского хозяйства, внедрение альтернативных источников энергии и международное сотрудничество. Результаты исследования призваны привлечь внимание к проблеме и стимулировать принятие мер для сохранения лесных экосистем Африки.*

Abstract: *The article is an analysis of forest area loss in Central Africa based on remote sensing data and web-mapping materials. The paper emphasizes the need for a comprehensive approach to addressing the problem of deforestation, including sustainable forest management, development of environmentally friendly agriculture, introduction of alternative energy sources and international cooperation. The results of the study are intended to draw attention to the problem and encourage action to conserve Africa's forest ecosystems.*

Ключевые слова: дистанционное зондирование земли, web-картографирование, потери лесопокрытой площади, экологический мониторинг.

Key words: remote sensing, web-mapping, forest area loss, ecological monitoring.

Введение.

Центральная Африка, регион с богатейшим биоразнообразием и ключевым значением для глобальной экологии, столкнулась с серьезной угрозой - стремительным обезлесением. Данные дистанционного зондирования Земли, полученные за последние два десятилетия, рисуют тревожную картину утраты лесного покрова, подчеркивая необходимость срочных и скоординированных действий.

Среди основных источников для обработки данных выступают различные материалы съемок, состоящие на основе наблюдений данных Landsat 7,8 загруженные на платформы Google Earth и Google Maps. Ряд исследований [1,2] направлены на анализ материалов дистанционного зондирования Земли, преимущественно лесных территорий, где оцениваются различные показатели, демонстрирующие текущее состояние территорий. Такой анализ, может позволить построить геоинформационные модели лесных экосистем, способные наглядно продемонстрировать ситуацию с состоянием лесных экосистем в динамике. [3,4]

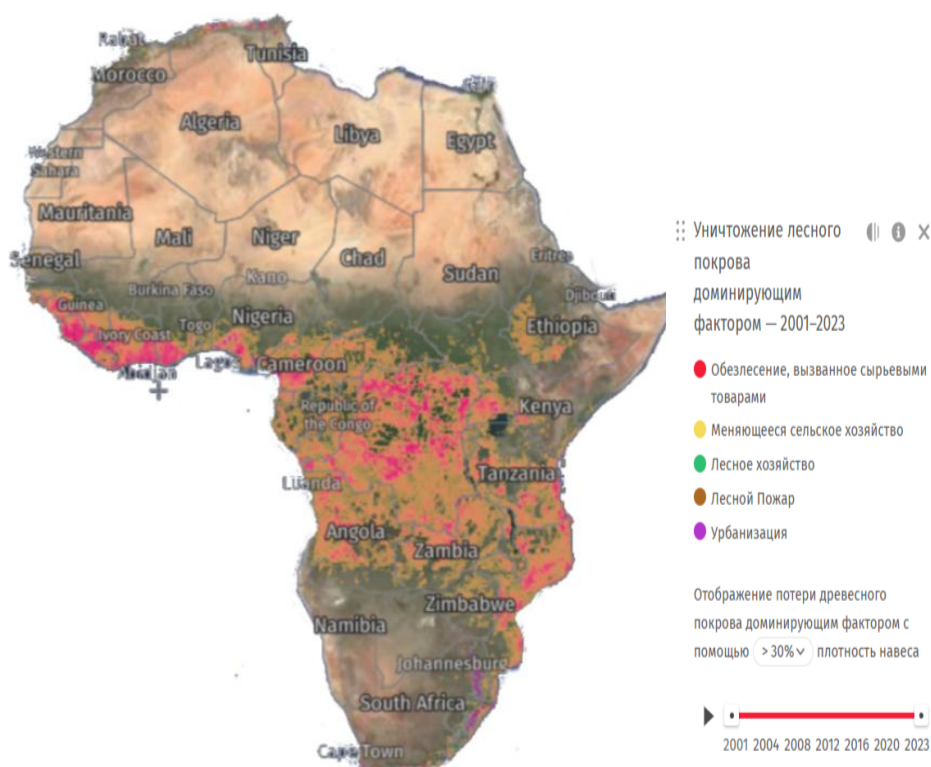


Рис. 1. – Спутниковый снимок Google с нанесением контуров потери
древесного покрова

Опираясь на представленное изображение карты с сайта Global Forest Watch, можно констатировать следующее, сельское хозяйство, как мелко-масштабное, так и коммерческое, является основной движущей силой уничтожения лесных ресурсов.

Продолжение текущей тенденции обезлесения в Африке приведет к катастрофическим последствиям утрате биоразнообразия, усугублению изменения климата из-за увеличения выбросов CO₂, эрозии почвы и деградации земель, нарушению гидрологического цикла, ухудшению продовольственной безопасности и увеличению бедности. Что спровоцирует миграцию, конфликты и ухудшение здоровья населения, а также нанесет ущерб экономике и внесет вклад в глобальные проблемы, затрагивающие все страны мира.

Оценка стран Центральной Африки.

Согласно анализу, проведенному на основе спутниковых снимков, в 2020 году Ангола имела 46,3 миллиона гектаров естественных лесов, покрывающих 37% территории страны. Однако в 2023 году было утрачено 289 тысяч гектаров леса. В период с 2001 по 2023 год Ангола потеряла 3,25 миллиона гектаров лесной растительности, что привело к 12% сокращению лесного покрова по сравнению с уровнем 2000 года (Рисунок 2).

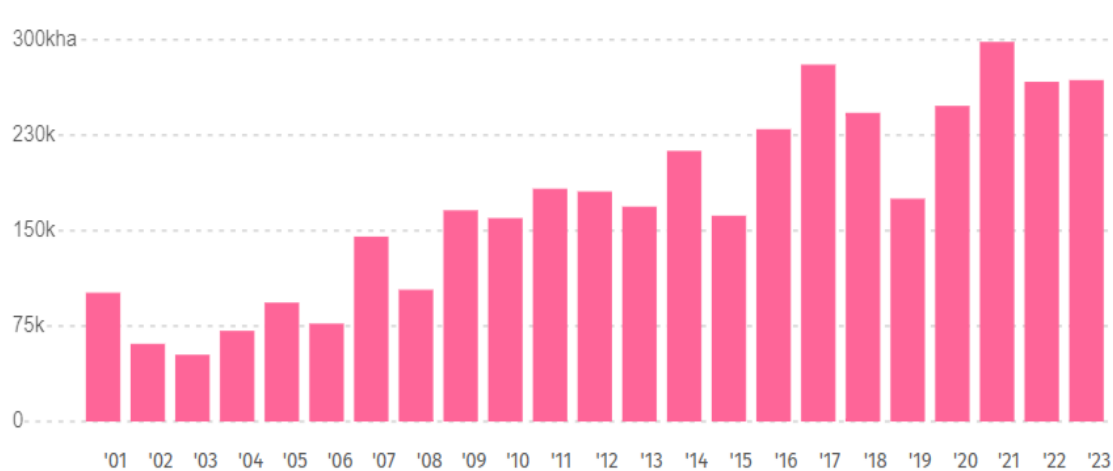


Рис. 2. - Потеря древесного покрова в Анголе

В начале периода (2001-2003) потеря древесного покрова была относительно низкой. Начиная с 2007 года, наблюдается тенденция к увеличению потери древесного покрова, с некоторыми колебаниями. Самый высокий уровень потери древесного покрова наблюдается в последние годы, особенно начиная с 2016 года. Некоторые годы показывают временное снижение темпов потери древесного покрова по сравнению с предыдущими годами, но затем они снова увеличиваются. В целом, график показыва-

ет, что потеря древесного покрова в Анголе значительно возросла за период с 2001 по 2023 год.

Если не будут предприняты значительные усилия по изменению текущей ситуации, вероятно, что обезлесение в Анголе продолжится в последующие годы.

Ситуация в Демократической Республике Конго (ДРК), обладающей огромными запасами естественных лесов, также вызывает серьезные опасения. Только в 2023 году страна потеряла 1,18 млн гектаров естественных лесов. В период с 2002 по 2023 год площадь влажных тропических лесов в ДРК сократилась на 6,86 млн гектаров, что составляет 6,6% от их общей площади.

Обезлесение в Демократической Республике Конго вызвано сочетанием факторов, включая мелкое сельское хозяйство, производство древесного угля, кустарную добычу полезных ископаемых, коммерческую лесозаготовку, рост населения, инфраструктурное развитие и неэффективное управление лесным хозяйством.



Рис. 3. – Утрата и потеря лесов Республики Конго

В Габоне, где естественные леса занимали 82% территории (21,8 млн га) в 2020 году, в 2023 году было утрачено 16,7 тыс. га, что привело к выбросу 13,6 млн тонн CO₂. С 2001 по 2023 год потеря 289 тысяч гектаров влажных девственных лесов составила 55% от общей потери древесного

покрова, сократив площадь таких лесов на 1,3%. В целом, Габон лишился 526 тыс. га лесной растительности (2,1% от уровня 2000 года), эквивалентных 327 млн тонн выбросов CO₂, при этом 0,31% этой потери было вызвано вырубкой лесов.

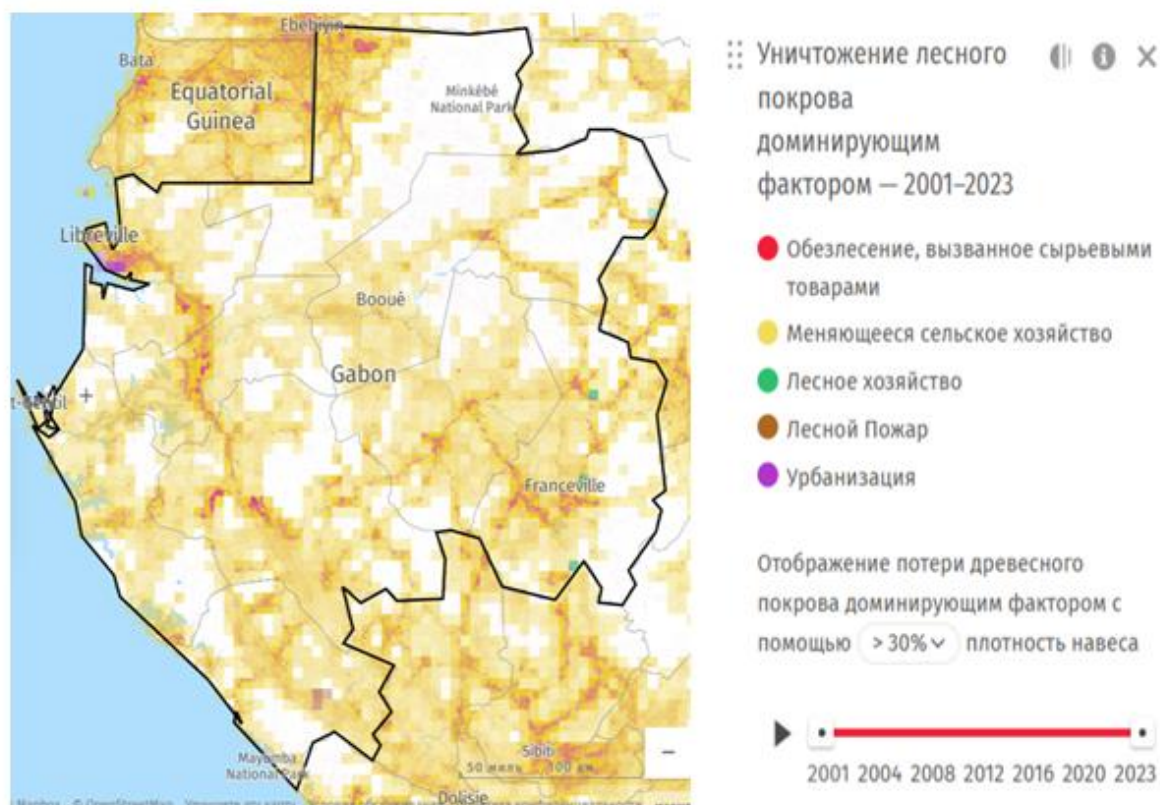


Рис. 4. - Гибель древостоев по причинам (источник Global Forest Watch)

На основе представленного рисунка 4, можно сделать вывод, что в Габоне основным фактором потери древесного покрова является "Меняющееся сельское хозяйство". Обезлесение, вызванное сырьевыми товарами, также присутствует, но менее выражено, в основном в прибрежных районах и вдоль рек. Это указывает на коммерческое производство сельскохозяйственной продукции, такой как какао, пальмовое масло, каучук. Лесное хозяйство и лесные пожары играют незначительную роль в потере древесного покрова в Габоне. При этом урбанизация оказывает минимальное влияние на потерю лесного покрова, за исключением районов крупных городов. Таким образом, анализ карты показывает, что сельское хозяйство является основным фактором обезлесения в Габоне, в то время как другие факторы оказывают гораздо меньшее влияние.

В 2020 году в Камеруне было 34,5 млн га естественных лесов (74% территории), в 2023 году потеряно 197 тыс. га, а чистое изменение древесного покрова с 2000 по 2020 год составило -99,0 га.



Рис. 5. – Доли площадей по типам изменений лесных территорий Камеруна

Анализируя доли площадей по типам изменений лесных территорий (рисунок 5), можно утверждать, что большая часть леса является стабильной. Однако есть и потери, и нарушенные территории, которые, нуждаются в дополнительном анализе причин потерь лесного покрова.

Центральная Африка теряет леса с тревожной скоростью. По разным оценкам, в год утрачивается от 0,5% до 1% лесного покрова. Это один из самых высоких показателей в мире и площадь потерянных лесов продолжает увеличиваться.

Сельское хозяйство, хотя и являясь основным источником продовольствия и дохода для миллионов африканцев, выступает одним из ключевых факторов, способствующих обезлесению на континенте. Расширение сельскохозяйственных угодий, использование подсечно-огневого земледелия и перевыпас скота приводят к уничтожению лесов и деградации почвы. Помимо сельского хозяйства, значительную роль играют также использование дров и древесного угля в качестве топлива, коммерческая вырубка леса, рост населения и изменение климата.

Для решения проблемы обезлесения необходим комплексный и скоординированный подход, объединяющий усилия правительств, международных организаций, местных общин и частного сектора. Особенно важно применять технологии искусственного интеллекта, способные упростить рутинный анализ больших по площади лесных территорий и ускорить обработку данных, на основе высокопроизводительного оборудования [5-7]. Можно выделить несколько ключевых направлений для развития лесного хозяйства в Центральной Африке:

- Внедрение практик рационального лесозаготовительного хозяйства, лесовосстановление и защита лесных территорий;
- Развитие агролесоводства, использование устойчивых методов земледелия и повышение эффективности водопользования;
- Снижение зависимости от дров и древесного угля путем внедрения солнечной, ветровой и геотермальной энергии;
- Посадка деревьев на деградированных землях и создание лесных плантаций;

- Усиление контроля над лесозаготовками и привлечение к ответственности виновных в незаконной вырубке;
- Информирование населения о проблемах обезлесения и их последствиях, а также обучение местным общинам методам устойчивого лесопользования и сельского хозяйства;
- Оказание финансовой и технической помощи африканским странам для поддержки усилий по борьбе с обезлесением.

Данные дистанционного зондирования служат тревожным звонком, призывающим к немедленным и решительным действиям. Судьба африканских лесов и благополучие миллионов людей зависит от нашей способности мобилизовать ресурсы, внедрить устойчивые практики и остановить разрушительное обезлесение. Только объединив усилия, мы сможем сохранить эти ценные экосистемы для будущих поколений.

Чтобы остановить исчезновение африканских лесов, нужно действовать сообща: правительствам, международным организациям, местным жителям и бизнесу. Важно использовать леса разумно, восстанавливать их, помогать фермерам вести хозяйство так, чтобы не вредить лесам, заменять дрова солнцем и ветром, сажать новые деревья, бороться с теми, кто рубит лес незаконно, рассказывать людям о важности лесов и помогать африканским странам деньгами и знаниями. Спутниковые снимки показывают, что тянуть больше нельзя. Если мы сейчас не начнем действовать, мы потеряем леса, а вместе с ними и благополучие миллионов людей. Только вместе мы сможем сохранить эти важные места для будущих поколений.

Заключение.

Обезлесение в Центральной Африке, как показали данные дистанционного зондирования, достигло критических масштабов, угрожая экологической стабильности и социально-экономическому благополучию региона. Утрата лесов, обусловленная сочетанием сельскохозяйственной деятельности, использования древесины в качестве топлива и других факторов, требует немедленных и скоординированных действий. Для обращения этой тенденции необходимы комплексные меры, включающие устойчивое лесопользование, поддержку экологически чистого сельского хозяйства, развитие альтернативных источников энергии и активное международное сотрудничество. Только совместными усилиями, возможно, сохранить ценные лесные экосистемы Африки и обеспечить устойчивое будущее для региона.

Библиографический список

1. Поздеева С. Д. Оценка естественного лесовосстановления на болотистых местностях на основе обработки данных дистанционного зондирования Земли / С. Д. Поздеева, М. Р. Вагизов // Актуальные вопросы лесного хозяйства : Материалы VIII международной молодежной научно-практической конференции, Санкт-Петербург, 21–22 ноября 2024 года. – Санкт-Петербург: ООО "Реноме", 2024. – С. 172-176. – EDN SIYOME.

2. Дистанционный мониторинг зарастания залежей Республики Марий Эл методом анализа главных компонент / С. А. Лежнин, А. В. Губаев, О. Н. Воробьев [и др.] // Исследование Земли из космоса. – 2024. – № 2. – С. 21-31. – DOI 10.31857/S0205961424020034. – EDN FPAУKM.
3. Трапезенко Е. А. Перспективы применения геоинформационной модели территории в линдуловской рощи / Е. А. Трапезенко, М. Р. Вагизов // Информационные технологии и системы: управление, экономика, транспорт, право. – 2024. – № 3(51). – С. 52-60. – EDN RHFKFY.
4. Вагизов М. Р. Технология геоинформационного моделирования лесных экосистем / М. Р. Вагизов // Леса России: политика, промышленность, наука, образование: Материалы VIII Всероссийской научно-технической конференции, Санкт-Петербург, 24–26 мая 2023 года. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова, 2023. – С. 56-59. – EDN GCKFRR.
5. Бажунов И. Д. Разработка платформы для мониторинга лесных экосистем на основе многоуровневой архитектуры / И. Д. Бажунов, А. А. Мокринский, А. К. Бойцов // Актуальные вопросы лесного хозяйства : Материалы VIII международной молодежной научно-практической конференции, Санкт-Петербург, 21–22 ноября 2024 года. – Санкт-Петербург: ООО "Реноме", 2024. – С. 147-151. – EDN GNKYDZ.
6. Оценка алгоритма «Случайный лес» машинного обучения для классификации фитомассы лесов / Д. М. Дергунов, О. Н. Воробьев, Э. А. Курбанов [и др.] // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Лес. Экология. Природопользование. – 2024. – № 1(61). – С. 30-43. – DOI 10.25686/2306-2827.2024.1.30. – EDN JHUADY.
7. Алгоритм оценки водоохранных лесов рек Республики Марий Эл по разносезонным спутниковым данным / Л. В. Тарасова, Э. А. Курбанов, О. Н. Воробьев [и др.] // Лесные экосистемы в условиях изменения климата: биологическая продуктивность и дистанционный мониторинг. – 2023. – № 9. – С. 102-117. – DOI 10.25686/foreco.2023.94.73.010. – EDN AKYZBP.

А.Е. Боркин, кандидат технических наук,
АО «Ленгипрострой»
kinklim@mail.ru

В.В. Лабец, кандидат технических наук, доцент,
Военная академия материально-технического обеспечения
имени генерала армии А.В. Хрулёва,
vetalino@yandex.ru

А.С. Мурашкин, старший оператор научной роты,
Военная академия материально-технического обеспечения
имени генерала армии А.В. Хрулёва,
murashkihartem20@yandex.ru

ВЫБОР РАЦИОНАЛЬНОГО МЕТОДА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ МНОГОМЕРНЫХ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ ДЛЯ АНАЛИЗА ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ИНЖЕНЕРНЫХ СИСТЕМ НА ПЛАНОВЫЙ ПЕРИОД

CHOOSING A RATIONAL METHOD FOR PREDICTING MUL- TIDIMENSIONAL TIME SERIES FOR ANALYZING THE FUNCTIO- NALITY OF ENGINEERING SYSTEMS FOR THE PLANNED PERIOD

***Аннотация.** В статье рассмотрены методы прогнозирования многомерных временных рядов для анализа функционирования инженерных систем на плановый период.*

***Annotation.** The article discusses methods for predicting multidimensional time series for analyzing the functioning of engineering systems for the planned period.*

***Ключевые слова:** инженерная система, нейронная сеть, временной ряд, прогнозирование, машинное обучение*

***Key words:** engineering system, neural network, time series, forecasting, machine learning.*

Вопрос прогнозирования является важной частью стратегического управления предприятием. Прогнозирование позволяет принимать эффективные решения и оптимизировать работу организации. Оно предполагает обоснованные предположения о будущих событиях, которые могут повлиять на развитие предприятия.

Органы управления в правительстве используют экономическое прогнозирование для согласования политики центрального банка, политические деятели используют прогнозирование для разработки своих предвыборных платформ, синоптики используют прогнозирование для расчета погодных условий, а лидеры бизнеса используют его для принятия реше-

ний [1]. Практически все инженерные системы объектов хозяйствования находятся в постоянном развитии, которое определяется потребностями и характером развития потребителей продукции. При разработке плана развития и функционирования инженерных сетей на ближайший период (один год или пять лет), например, электрической сети, желательно иметь инструмент прогноза в дополнение к тем методикам, которые применяются в настоящее время. Как правило, существующие методики прогноза носят расчетный характер и не учитывают ряд факторов, присущих конкретному объекту или территории, так как имеют усредненный характер и основаны на некоторых удельных показателях. В связи с этим целесообразно использовать методы, которые позволяют учитывать показатели работы (исторические данные) предприятия (других предприятий отрасли) и вырабатывать прогноз с необходимой точностью.

При построении прогноза обычно используют математические методы для анализа больших массивов данных, в качестве которых часто выступают временные ряды [2]. Временной ряд представляет собой последовательность упорядоченных во времени числовых показателей, характеризующих уровень развития изучаемого явления [3]. Значения числового показателя называют уровнями ряда. В качестве временного показателя могут указываться как определённые моменты времени (даты), так и отдельные периоды (сутки, месяцы, кварталы). При этом при увеличении количества числовых показателей рассматриваются многомерные временные ряды, представляющие собой систему из нескольких одномерных временных рядов (рисунок 1).

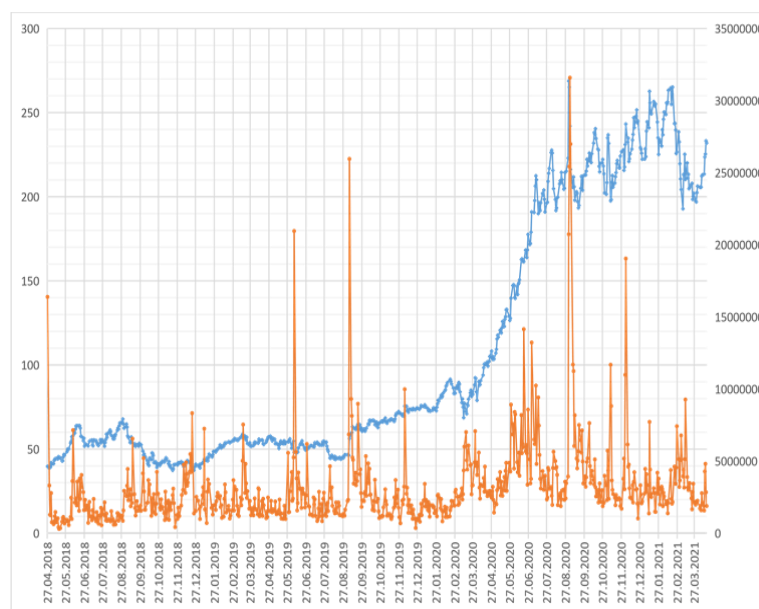


Рис. 1. Пример многомерного временного ряда

При анализе функционирования инженерных систем на плановый период может использоваться большое количество методов построения прогнозов многомерных временных рядов, в том числе статистические, регрессионные, нейросетевые и т.п. Рассмотрим для указанной предметной

области основные методы прогнозирования временных рядов, а также опишем их преимущества и недостатки.

Методы экстраполяции

В таких методах предполагается, что закономерность развития, действующая в прошлом, сохранится и в прогнозируемом будущем, т.е. прогноз основан на экстраполировании.

Применение экстраполяции в прогнозировании базируется на следующих предпосылках:

- развитие исследуемого явления в целом описывается плавной кривой;
- общая тенденция развития явления в прошлом и в настоящем не претерпит серьезных изменений в будущем [4].

Таким образом, эффективность прогнозирования с использованием методов экстраполяции зависит от того, насколько близкими к действительности окажутся вышеописанные предпосылки.

К методам экстраполяции относится метод экспоненциального сглаживания (*ES*), в основу которого заложено постоянное изменение прогнозных значений по мере поступления фактических. Модель *ES* присваивает экспоненциально убывающие веса наблюдениям по мере их старения. Последние доступные значения имеют большее влияние на прогнозное значение, чем старшие наблюдения.

Функция *ES* имеет вид:

$$Z(t) = S(t) + \varepsilon_t, \quad (1)$$

$$S(t) = \alpha \cdot Z(t-1) + (1 - \alpha) \cdot S(t-1), \quad (2)$$

где α – коэффициент сглаживания, $0 < \alpha < 1$.

Для процессов, имеющих тренд, используется метод двойного экспоненциального сглаживания (модель Хольта).

Для процессов, имеющих тренд и сезонную составляющую, применяют метод тройного экспоненциального сглаживания (модель Хольта-Винтерса).

Достоинствами данного класса моделей являются простота и единообразие их анализа и проектирования.

Основными недостатками методов экстраполяции является то, что они не учитывают сезонные и другие нециклические (случайные) колебания, которые присущи инженерным системам. Также в подобных моделях возникает сложность в учёте всех влияющих факторов.

Регрессионные методы

В регрессионном анализе рассматривается связь между одной зависимой переменной и несколькими другими независимыми переменными. Эта связь представляется с помощью математической модели [5]. При использовании линейных регрессионных моделей результат прогнозирования может быть получен быстрее, чем при использовании остальных моде-

лей. Кроме того, достоинством является прозрачность, т.е. доступность для анализа всех промежуточных вычислений.

Базовым вариантом регрессионной модели является линейная регрессия. Суть заключается в том, что существует фактор $X(t)$, оказывающий влияние на исследуемый процесс $Z(t)$. Такие модели описываются уравнением:

$$Z(t) = \alpha_0 + \alpha_1 X(t) + \varepsilon_t, \quad (3)$$

где α_0 и α_1 – коэффициенты регрессии; ε_t – ошибка регрессии.

На практике на процесс $Z(t)$ оказывают влияние сразу несколько внешних факторов $X_1(t), \dots, X_S(t)$. Тогда используется множественная регрессионная модель, описываемая уравнением:

$$Z(t) = \alpha_0 + \alpha_1 X_1(t) + \alpha_2 X_2(t) + \dots + \alpha_S X_S(t) + \varepsilon_t \quad (4)$$

Недостатком такой модели является то, что для вычисления будущего значения $Z(t)$ необходимо знать будущие значения всех факторов, что почти невыполнимо на практике.

В основу нелинейной регрессионной модели положено предположение о том, что существует известная функция, описывающая зависимость между исходным процессом $Z(t)$ и фактором $X(t)$, однако на практике в инженерных системах редко встречаются такие процессы с известной функцией зависимости. В связи с этим такие модели почти не применяются.

Авторегрессионные модели

В таких моделях предполагается, что значения процесса $Z(t)$ линейно зависят от некоторого количества предыдущих значений того же процесса $Z(t-1), \dots, Z(t-p)$. Модели авторегрессии применяются только для описания некоторых временных рядов. В таких моделях текущее значение процесса выражается как конечная линейная совокупность предыдущих значений процесса и импульса, который называется «белым шумом». Авторегрессионные модели описываются уравнением:

$$Z(t) = C + \varphi_1 Z(t-1) + \varphi_2 Z(t-2) + \dots + \varphi_p Z(t-p) + \varepsilon_t, \quad (5)$$

где C – константа; ε_t – ошибка модели; $\varphi_1, \dots, \varphi_p$ – коэффициенты авторегрессии, определяющие влияние предыдущих значений ряда.

Подобные авторегрессионные модели обозначаются $AR(p)$, где p – порядок авторегрессии.

Совместно с авторегрессией используют модель скользящего среднего (МА) порядка q , которая описывается уравнением:

$$Z(t) = \frac{1}{q} (Z(t-1) + Z(t-2) + \dots + Z(t-q)) + \varepsilon_t, \quad (6)$$

Общая модель, включающая в себя модели авторегрессии и скользящего среднего, обозначается $ARMA(p,q)$ [6].

Простота реализации, а также учёт автокорреляции и случайных шумов являются преимуществами модели $ARMA$, однако подобная модель не учитывает влияние других переменных и не имеет способность к моделированию нелинейных процессов.

Нейросетевые модели и методы

В настоящее время наибольшую популярность для прогнозирования временных рядов приобретают нейронные сети.

Нейронная сеть представляет собой совокупность нейронов, соединённых друг с другом определённым образом (рисунок 2).

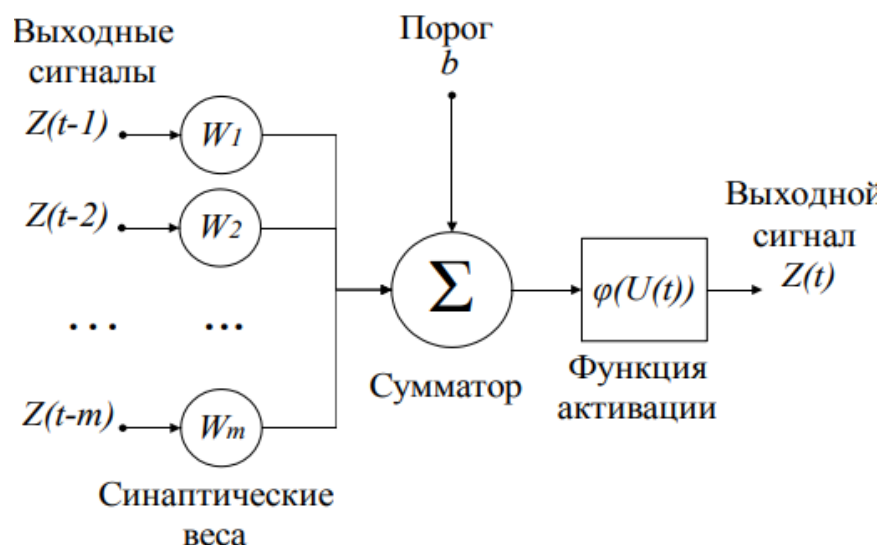


Рис. 2. Модель нейрона

Уравнения, описывающие модель нейрона:

$$U(t) = \sum_{i=1}^m (\omega_i \cdot Z(t-i) + b), \quad (7)$$

$$Z(t) = \varphi(U(t)), \quad (8)$$

где $Z(t-1), \dots, Z(t-m)$ – входные сигналы; $\omega_1, \dots, \omega_m$ – синаптические веса нейронов; b – значение смещения; $\varphi(U(t))$ – функция активации.

В качестве функций активаций могут применяться следующие виды функций [7]:

- функция единичного скачка;
- кусочно-линейная функция;
- сигмоидальная функция.

Для прогнозирования многомерных временных рядов применяются рекуррентные нейронные сети (RNN). Каждый нейрон такой сети может хранить информацию о предыдущих входах. Это позволяет запоминать и использовать информацию из прошлых шагов, что особенно полезно в задачах прогнозирования, где важна долгосрочная память, в том числе и для анализа функционирования инженерных систем. Таким образом, RNN можно рассматривать как несколько копий одной и той же сети, каждая из которых передает информацию следующей (рисунок 3).

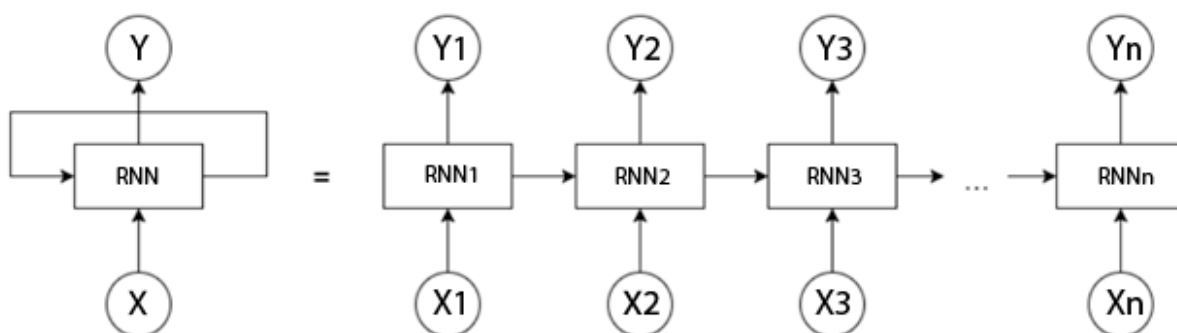


Рис. 3. Схема RNN

Однако чистые рекуррентные нейронные сети не очень часто используются на практике. Основная причина этому – проблема исчезающего градиента.

По этой причине для обучения долгосрочных зависимостей применяют сети *LSTM*, которые являются особым видом рекуррентных нейронных сетей.

Наиболее рациональным методом прогнозирования многомерных временных рядов для анализа функциональности инженерных систем является нейросетевой метод по следующим причинам:

1. Учет сложных нелинейных зависимостей.

Нейронные сети способны моделировать сложные нелинейные зависимости между переменными, что особенно важно для анализа инженерных систем, где взаимосвязи между параметрами часто нелинейны и многомерны, в то время как методы экстраполяции и регрессии обычно предполагают линейные или простые нелинейные зависимости, что может быть недостаточно для точного прогнозирования.

2. Обработка многомерных данных.

Нейронные сети могут эффективно работать с многомерными временными рядами, учитывая взаимосвязи между множеством переменных (например, температура, давление, расход энергии и т.д.).

3. Автоматическое извлечение признаков.

Глубокие нейронные сети (например, *LSTM*, *GRU*), способны автоматически извлекать важные признаки из временных рядов, что избавляет от необходимости ручного выбора и предобработки данных. В традиционных методах требуется ручной подбор признаков и параметров модели, что может быть трудоемким и менее точным.

4. Учет долгосрочных зависимостей.

Рекуррентные нейронные сети (*RNN*), такие как *LSTM* и *GRU*, специально разработаны для работы с временными рядами и способны учитывать долгосрочные зависимости в данных. Авторегрессионные методы (например, *ARIMA*) часто ограничены короткими временными зависимостями и могут не учитывать долгосрочные тренды и циклы.

5. Адаптивность к изменяющимся условиям.

Нейросетевой подход позволяет адаптироваться к изменяющимся условиям работы инженерных систем, например, к сезонным колебаниям или изменению режимов эксплуатации. Методы экстраполяции и регрессии часто предполагают стационарность данных, что может быть неверным для динамичных инженерных систем.

6. Возможность обработки шума и пропущенных данных.

Нейронные сети могут быть обучены на данных с шумом и пропущенными значениями, что часто встречается в реальных данных от инженерных систем. Методы экстраполяции, регрессии и авторегрессии требуют предварительной очистки и интерполяции данных, что может привести к потере информации.

7. Масштабируемость.

Нейронные сети могут быть легко масштабированы для работы с большими объемами данных и сложными системами, что важно для современных инженерных систем с большим количеством датчиков и параметров.

8. Интеграция с другими методами

Нейросетевой подход может быть интегрирован с другими методами машинного обучения и оптимизации, что позволяет создавать гибридные модели для более точного прогнозирования.

С учетом сказанного, можно полагать, что для анализа инженерных систем путем прогнозирования наиболее подходящим и действенным методом является нейросетевой.

Разработка макета программного продукта

По итогам обоснования выбора нейросетевого подхода был разработан макет программного продукта, позволяющий прогнозировать различные параметры инженерной системы (например, электрической сети предприятия или административного района) на выбранный пользователем горизонт прогнозирования.

Для осуществления прогноза использовалась рекуррентная нейронная сеть, имеющая три слоя (первый слой 64 нейрона, второй 32 нейрона, третий 16 нейронов). Также после второго и третьего *LSTM* слоя расположены слои *Dropout* (рисунок 4).

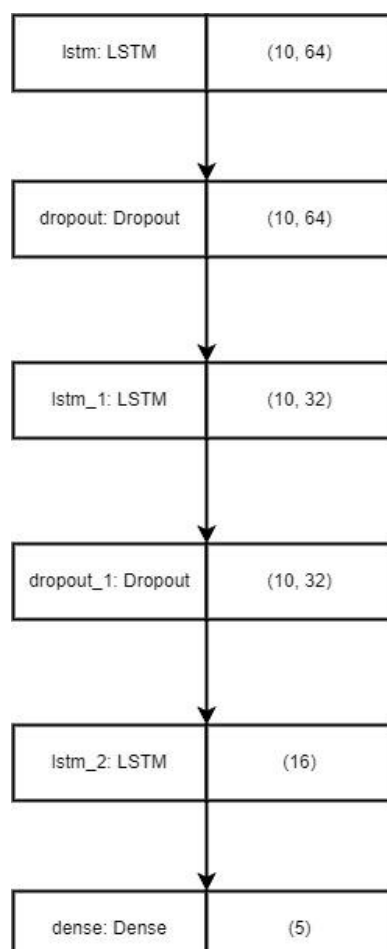


Рис. 4. Структура предлагаемой нейронной сети

Макет программы позволяет пользователю выполнить следующие действия:

1. Загрузка исходного файла с различными параметрами. Например, суточное потребление электроэнергии, суточная температура, цены на электроэнергию и т.д.
2. Выбор предсказываемого параметра и набора параметров для выполнения прогноза.
3. Обучение модели с различными параметрами такими как количество эпох, размер батча (количество пакетов данных), количество записей, используемых для прогнозирования и горизонт прогнозирования.
4. Выполнение предсказания выбранного параметра на заданный горизонт прогнозирования.

Интерфейс разработанной программы представлен на рисунке 5:

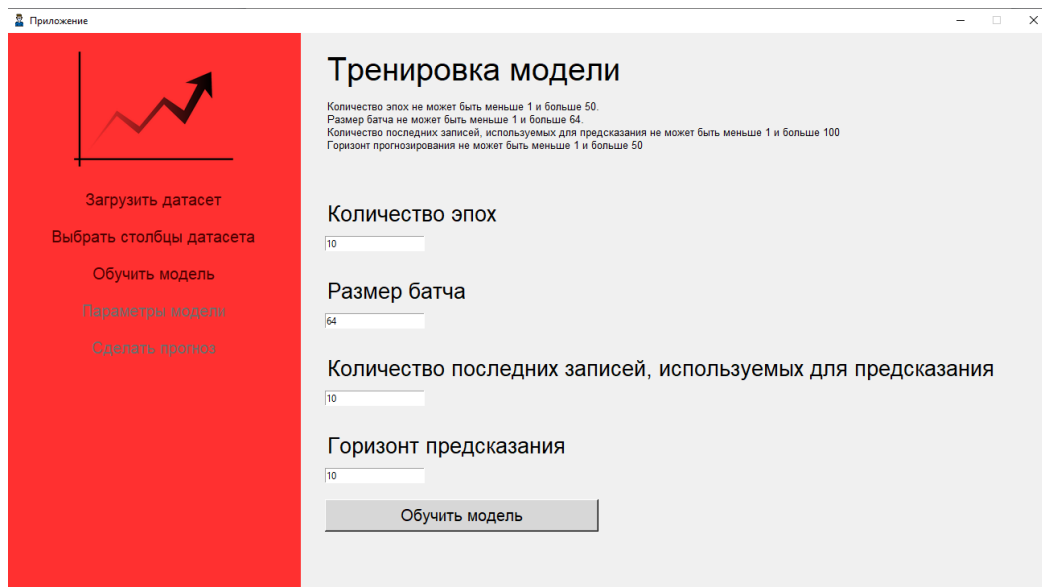


Рис. 5. Интерфейс разработанной программы

Для тестирования программы был взят исходный файл с различным набором данных электрической сети района местности (температура, потребление электроэнергии, цена и т.д.) (рис. 6).

Результат обучения модели на исходных данных изображен на рисунке 7.

Для оценки результата обучения модели на тестовых данных используется метрика *MAPE* (*Mean Absolute Percentage Error*), которая выражает среднее абсолютное отклонение прогнозируемых значений от фактических значений в процентах.

1	generation biomass,generation fossil brown coal/lignite,generation fossil gas,generation fossil hard coal,generation fossil oil,generation hydro pumped storage consumption,generation hydro run-of-river ai
2	422.0,173.0,4059.0,3516.0,167.0,2020.0,1041.0,1817.0,7096.0,43.0,72.0,2019.0,204.0,2683.0,1996.0,2617.0,22824.0,22250.0,43.1,274.601,274.601,1005.71,1,307.0,0.0,800
3	421.0,226.0,3931.0,3845.0,166.0,1183.0,1069.0,1516.0,7097.0,42.0,73.0,3197.0,206.0,2771.0,2990.0,2450.0,23720.0,23547.0,45.14,284.824,284.824,1006.55,1,255.0,0.0,800
4	428.0,303.0,3784.0,4220.0,167.0,972.0,1052.0,1204.0,7097.0,41.0,75.0,3885.0,209.0,2906.0,3842.0,2819.0,24180.0,24133.0,45.14,284.824,284.824,1006.55,1,255.0,0.0,800
5	425.0,288.0,3754.0,4404.0,167.0,922.0,1041.0,1286.0,7099.0,40.0,74.0,4007.0,210.0,2923.0,3812.0,2830.0,24797.0,24713.0,47.35,284.824,284.824,1006.55,1,255.0,0.0,800
6	423.0,260.0,3779.0,4256.0,166.0,941.0,1028.0,1027.0,7097.0,40.0,76.0,3973.0,210.0,2945.0,3699.0,2851.0,25222.0,24672.0,47.35,285.05065625,285.05065625,1015.52,1,248.0,0.0,800
7	421.0,183.0,3708.0,4038.0,160.0,1069.0,1023.0,1151.0,7096.0,40.0,76.0,3818.0,210.0,2709.0,3369.0,2822.0,24173.0,23528.0,43.61,285.27734375,285.27734375,1025.50,1,242.0,0.0,800
8	422.0,256.0,3813.0,4191.0,163.0,970.0,1032.0,1156.0,7095.0,41.0,75.0,3088.0,211.0,2552.0,2615.0,2562.0,23659.0,23118.0,44.91,281.024,281.024,1021.67,1,230.0,0.0,800
9	426.0,322.0,3967.0,4707.0,165.0,798.0,1036.0,1626.0,7095.0,41.0,75.0,1467.0,208.0,2699.0,1387.0,2578.0,23982.0,23606.0,48.1,282.744,282.744,1035.58,1,226.0,0.0,800
10	427.0,282.0,4756.0,4756.0,164.0,1.0,1094.0,3203.0,7096.0,42.0,74.0,404.0,209.0,2764.0,399.0,2824.0,26981.0,26447.0,58.02,279.98400000000004,279.98400000000004,1035.68,1,216.0,0.0,800
11	442.0,303.0,4410.0,4918.0,147.0,1.0,1153.0,5333.0,7096.0,42.0,76.0,139.0,208.0,2913.0,100.0,2801.0,28515.0,28020.0,61.01,277.8761875,277.8761875,1017.69,1,235.0,0.0,800
12	422.0,173.0,4059.0,3516.0,167.0,2020.0,1041.0,1817.0,7096.0,43.0,72.0,2019.0,204.0,2683.0,1996.0,2617.0,22824.0,22250.0,43.1,274.601,274.601,1005.71,1,307.0,0.0,800
13	421.0,226.0,3931.0,3845.0,166.0,1183.0,1069.0,1516.0,7097.0,42.0,73.0,3197.0,206.0,2771.0,2990.0,2450.0,23720.0,23547.0,45.14,284.824,284.824,1006.55,1,255.0,0.0,800
14	428.0,303.0,3784.0,4220.0,167.0,972.0,1052.0,1204.0,7097.0,41.0,75.0,3885.0,209.0,2906.0,3842.0,2819.0,24180.0,24133.0,45.14,284.824,284.824,1006.55,1,255.0,0.0,800
15	425.0,288.0,3754.0,4404.0,167.0,922.0,1041.0,1286.0,7099.0,40.0,74.0,4007.0,210.0,2923.0,3812.0,2830.0,24797.0,24713.0,47.35,284.824,284.824,1006.55,1,255.0,0.0,800
16	423.0,260.0,3779.0,4256.0,166.0,941.0,1028.0,1027.0,7097.0,40.0,76.0,3973.0,210.0,2945.0,3699.0,2851.0,25222.0,24672.0,47.35,285.05065625,285.05065625,1015.52,1,248.0,0.0,800
17	421.0,183.0,3708.0,4038.0,160.0,1069.0,1023.0,1151.0,7096.0,40.0,76.0,3818.0,210.0,2709.0,3369.0,2822.0,24173.0,23528.0,43.61,285.27734375,285.27734375,1025.50,1,242.0,0.0,800
18	422.0,256.0,3813.0,4191.0,163.0,970.0,1032.0,1156.0,7095.0,41.0,75.0,3088.0,211.0,2552.0,2615.0,2562.0,23659.0,23118.0,44.91,281.024,281.024,1021.67,1,230.0,0.0,800
19	426.0,322.0,3967.0,4707.0,165.0,798.0,1036.0,1626.0,7095.0,41.0,75.0,1467.0,208.0,2699.0,1387.0,2578.0,23982.0,23606.0,48.1,282.744,282.744,1035.58,1,226.0,0.0,800
20	427.0,282.0,4756.0,4756.0,164.0,1.0,1094.0,3203.0,7096.0,42.0,74.0,404.0,209.0,2764.0,399.0,2824.0,26981.0,26447.0,58.02,279.98400000000004,279.98400000000004,1035.68,1,216.0,0.0,800
21	442.0,303.0,4410.0,4918.0,147.0,1.0,1153.0,5333.0,7096.0,42.0,76.0,139.0,208.0,2913.0,100.0,2801.0,28515.0,28020.0,61.01,277.8761875,277.8761875,1017.69,1,235.0,0.0,800
22	422.0,173.0,4059.0,3516.0,167.0,2020.0,1041.0,1817.0,7096.0,43.0,72.0,2019.0,204.0,2683.0,1996.0,2617.0,22824.0,22250.0,43.1,274.601,274.601,1005.71,1,307.0,0.0,800
23	421.0,226.0,3931.0,3845.0,166.0,1183.0,1069.0,1516.0,7097.0,42.0,73.0,3197.0,206.0,2771.0,2990.0,2450.0,23720.0,23547.0,45.14,284.824,284.824,1006.55,1,255.0,0.0,800
24	428.0,303.0,3784.0,4220.0,167.0,972.0,1052.0,1204.0,7097.0,41.0,75.0,3885.0,209.0,2906.0,3842.0,2819.0,24180.0,24133.0,45.14,284.824,284.824,1006.55,1,255.0,0.0,800
25	425.0,288.0,3754.0,4404.0,167.0,922.0,1041.0,1286.0,7099.0,40.0,74.0,4007.0,210.0,2923.0,3812.0,2830.0,24797.0,24713.0,47.35,284.824,284.824,1006.55,1,255.0,0.0,800
26	423.0,260.0,3779.0,4256.0,166.0,941.0,1028.0,1027.0,7097.0,40.0,76.0,3973.0,210.0,2945.0,3699.0,2851.0,25222.0,24672.0,47.35,285.05065625,285.05065625,1015.52,1,248.0,0.0,800
27	421.0,183.0,3708.0,4038.0,160.0,1069.0,1023.0,1151.0,7096.0,40.0,76.0,3818.0,210.0,2709.0,3369.0,2822.0,24173.0,23528.0,43.61,285.27734375,285.27734375,1025.50,1,242.0,0.0,800
28	422.0,256.0,3813.0,4191.0,163.0,970.0,1032.0,1156.0,7095.0,41.0,75.0,3088.0,211.0,2552.0,2615.0,2562.0,23659.0,23118.0,44.91,281.024,281.024,1021.67,1,230.0,0.0,800
29	426.0,322.0,3967.0,4707.0,165.0,798.0,1036.0,1626.0,7095.0,41.0,75.0,1467.0,208.0,2699.0,1387.0,2578.0,23982.0,23606.0,48.1,282.744,282.744,1035.58,1,226.0,0.0,800
30	427.0,282.0,4756.0,4756.0,164.0,1.0,1094.0,3203.0,7096.0,42.0,74.0,404.0,209.0,2764.0,399.0,2824.0,26981.0,26447.0,58.02,279.98400000000004,279.98400000000004,1035.68,1,216.0,0.0,800
31	442.0,303.0,4410.0,4918.0,147.0,1.0,1153.0,5333.0,7096.0,42.0,76.0,139.0,208.0,2913.0,100.0,2801.0,28515.0,28020.0,61.01,277.8761875,277.8761875,1017.69,1,235.0,0.0,800
32	422.0,173.0,4059.0,3516.0,167.0,2020.0,1041.0,1817.0,7096.0,43.0,72.0,2019.0,204.0,2683.0,1996.0,2617.0,22824.0,22250.0,43.1,274.601,274.601,1005.71,1,307.0,0.0,800
33	421.0,226.0,3931.0,3845.0,166.0,1183.0,1069.0,1516.0,7097.0,42.0,73.0,3197.0,206.0,2771.0,2990.0,2450.0,23720.0,23547.0,45.14,284.824,284.824,1006.55,1,255.0,0.0,800
34	428.0,303.0,3784.0,4220.0,167.0,972.0,1052.0,1204.0,7097.0,41.0,75.0,3885.0,209.0,2906.0,3842.0,2819.0,24180.0,24133.0,45.14,284.824,284.824,1006.55,1,255.0,0.0,800
35	425.0,288.0,3754.0,4404.0,167.0,922.0,1041.0,1286.0,7099.0,40.0,74.0,4007.0,210.0,2923.0,3812.0,2830.0,24797.0,24713.0,47.35,284.824,284.824,1006.55,1,255.0,0.0,800
36	423.0,260.0,3779.0,4256.0,166.0,941.0,1028.0,1027.0,7097.0,40.0,76.0,3973.0,210.0,2945.0,3699.0,2851.0,25222.0,24672.0,47.35,285.05065625,285.05065625,1015.52,1,248.0,0.0,800
37	421.0,183.0,3708.0,4038.0,160.0,1069.0,1023.0,1151.0,7096.0,40.0,76.0,3818.0,210.0,2709.0,3369.0,2822.0,24173.0,23528.0,43.61,285.27734375,285.27734375,1025.50,1,242.0,0.0,800
38	422.0,256.0,3813.0,4191.0,163.0,970.0,1032.0,1156.0,7095.0,41.0,75.0,3088.0,211.0,2552.0,2615.0,2562.0,23659.0,23118.0,44.91,281.024,281.024,1021.67,1,230.0,0.0,800
39	426.0,322.0,3967.0,4707.0,165.0,798.0,1036.0,1626.0,7095.0,41.0,75.0,1467.0,208.0,2699.0,1387.0,2578.0,23982.0,23606.0,48.1,282.744,282.744,1035.58,1,226.0,0.0,800
40	427.0,282.0,4756.0,4756.0,164.0,1.0,1094.0,3203.0,7096.0,42.0,74.0,404.0,209.0,2764.0,399.0,2824.0,26981.0,26447.0,58.02,279.98400000000004,279.98400000000004,1035.68,1,216.0,0.0,800
41	442.0,303.0,4410.0,4918.0,147.0,1.0,1153.0,5333.0,7096.0,42.0,76.0,139.0,208.0,2913.0,100.0,2801.0,28515.0,28020.0,61.01,277.8761875,277.8761875,1017.69,1,235.0,0.0,800

Рис. 6. Исходный файл

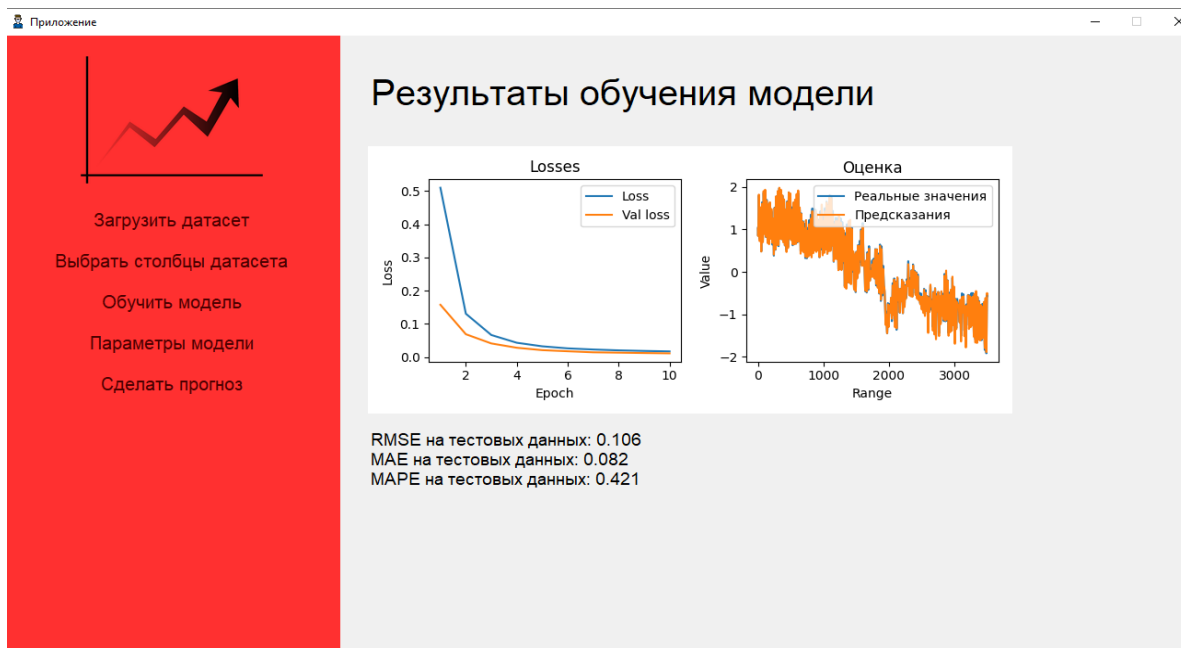


Рис. 7. Результат обучения модели

По результатам обучения модели метрика *MAPE*, которая была применена для оценки точности прогнозирования температуры, оказалась равной 0,421%. Это свидетельствует о том, что средняя абсолютная процентная ошибка между температурой, предсказанной моделью, и фактической температурой составляет 0,421%.

Результатом выполнения прогноза модели является файл с полученными предсказанными значениями температуры окружающей среды на выбранный горизонт прогнозирования (рисунок 8).

	A
1	temp
2	283.75073
3	284.81808
4	282.34967
5	282.46973
6	281.5303
7	280.5704
8	280.37903
9	277.99625
10	278.86496
11	276.86212

Рис. 8. Результат предсказания

Таким образом, применение прогнозирования многомерных временных рядов для анализа функциональности инженерных систем позволит:

1. Выявить отклонения от установленных параметров функционирования системы для выявления потенциальных проблем и предотвращения аварийных ситуаций.

2. Оптимально распределить ресурсы для снижения затрат и установить подходящие режимы работы технических систем для повышения эффективности.
3. Обрабатывать данные из разнообразных источников, таких как датчики, исторические данные и данные о состоянии технических систем, что позволит получить более полную картину функционирования системы.
4. Значительно снизить время на мониторинг и управление сложными техническими системами.
5. Облегчить принятие решений персоналу, позволяя оперативно реагировать на изменения в работе технических систем.

Библиографический список

1. К. Корсакова, Н. В. Русина, В. М. Бондарик // BIG DATA и анализ высокого уровня: сборник научных статей X Международной научно-практической конференции, Минск, 13 марта 2024 г.: в 2 ч. Ч. 2 / Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники; редкол.: В.А. Богуш [и др.]. – Минск 2024. – С. 438–443.
2. Груздев, А. В. Прогнозирование временных рядов с помощью Facebook Prophet, ETNA, Sktime и LinkedIn Greykite: Строим, настраиваем, улучшаем модели прогнозирования временных рядов с помощью специальных библиотек. – М.: ДМК Пресс, 2023. – 750 с.: ил.
3. Саженкова, Т.В. Методы анализа временных рядов: учебно-методическое пособие / Т.В. Саженкова, И.В. Пономарёв, С.П. Пронь. – Барнаул: Изд-во Алт. ун-та, 2020. – 60 с.
4. Статистическое моделирование и прогнозирование: учеб. пособие / авт.-сост.: Д. Ю. Фраймович, М. Л. Быкова; Владим. гос. ун-т им. А. Г. и Н. Г. Столетовых. – Владимир: Издво ВлГУ, 2023. – 209 с.
5. Максимова, Т.Г., Попова, И.Н. Эконометрика: учебно-методическое пособие / Т.Г. Максимова, И.Н. Попова. – СПб.: Университет ИТМО, 2018. – 70 с.
6. Бокс Дж., Дженкинс, Г.М. Анализ временных рядов, прогноз и управление. – М.: Мир, 1974. – 406 с.
7. Хайкин С. Нейронные сети: полный курс. – М.: ООО «И. Д. Вильямс», 2006. – 1104 с.

Н.П. Васильев, кандидат технических наук, доцент
Кафедра информационных систем и технологий
СПбГЛТУ им. С. М. Кирова
nikpv@mail.ru

ТОПОЛОГИЯ ДИАГРАММ ВОРОНОГО В РАЗЛИЧНЫХ ГРАФИЧЕСКИХ КОНТЕКСТАХ

TOPOLOGY OF VORONOI DIAGRAMS IN VARIOUS GRAPHICAL CONTEXTS

Аннотация: Использование готового кода для расчёта и рендеринга диаграмм Вороного и их топологических элементов затруднено необходимостью перехода к координатам конкретного графического устройства вывода. На примере библиотеки d3js продемонстрирована технология перехода от преобразования кадрирования в однородных координатах к графическим контекстам canvas и SVG. Описанный подход может быть использован в других библиотеках и контекстах, например, Google Maps

Annotation: Using ready-made code for calculating and rendering Voronoi diagrams and their topological elements is complicated by the need to switch to the coordinates of a specific graphics output device. Using the d3js library as an example, the technology of switching from frame transformation in homogeneous coordinates to canvas and SVG graphic contexts is demonstrated. The described approach can be used in other libraries and contexts, for example, Google Maps

Ключевые слова: диаграмма Вороного, триангуляция Делоне, 2d-canvas, SVG, аффинные преобразования координат, d3

Keywords: Voronoi diagram, Delaunay triangulation, 2d-canvas, SVG, affine coordinate transformations, d3

Введение

Задача вычисления диаграммы Вороного и двойственная ей задача триангуляции Делоне имеют важное прикладное значение и нашли применение, например, в геоинформатике, математической физике, вычислительной математике и, конечно, в компьютерной геометрии и графике [1, 2, 3,]. Для решения этих задач в настоящее время существуют надёжные алгоритмы, а также библиотеки на их основе, позволяющие манипулировать топологией результата [3, 4, 5].

Вместе с тем, использование готового кода может быть затруднено, если речь идёт о конкретном графическом контексте. Действительно, с одной стороны, интерфейс библиотек использует декартовы координаты в

безразмерных единицах. С другой стороны, рендеринг результата требует перехода к координатам используемого графического устройства. Например, для канвы в окне браузера, определяемой двумерным контекстом тега `canvas` (2d-context) или SVG (Scalable Vector Graphics), это пиксели, а для карты Google — это широта и долгота. Заметим, что пиксели для `canvas` — это не «аппаратные» пиксели монитора (или другого графического устройства вывода). Таким образом, для успешного рендеринга результатов вычислений требуется адаптация выбранной библиотеки к контексту конкретных программно-аппаратных средств.

Диаграмма Вороного (известная также как диаграмма Дирихле) [1] строится для заданного набора объектов на плоскости и определяет разбиение этой плоскости на части, каждая из которых состоит из точек ближайших к одному из исходных объектов. В простейшем случае такими объектами являются точки. В результате плоскость разбивается на области «влияния» каждой точки, называемые областями Вороного. Границы этих областей, собственно, и образуют диаграмму Вороного, с которой связана другая замечательная задача — триангуляция Делоне. Триангуляцией называют разбиение минимального выпуклого многоугольника, включающего заданные точки, на треугольники с вершинами в этих точках. Среди возможных вариантов триангуляция Делоне отличается рядом замечательных свойств. Важнейшее из них — «пустой шар» (точнее «пустой круг» для двумерного варианта). «Пустой круг», описанный вокруг любого треугольника, не должен содержать других точек из числа заданных (поэтому он называется пустым). Диаграмма Вороного и триангуляция Делоне связаны и являются двойственными. Если соединить центры «пустых кругов», то получим диаграмму Вороного. Наоборот, если для каждого ребра диаграммы Вороного построить серединный перпендикуляр, то получим триангуляцию Делоне.

Для расчёта и работы с топологией диаграмм Вороного (или триангуляции Делоне) воспользуемся активами портала `d3js` [3, 4]. Это мощнейший ресурс открытого кода на языке JavaScript, ориентированный на задачи визуализации данных, который также отличается подробной документацией и многочисленными примерами. Продемонстрируем технологию настройки графического контекста на примере этой библиотеки.

Библиотека `d3-delaunay-main`

Является частью библиотеки `d3`, но может быть установлена отдельно (<https://github.com/d3/d3-delaunay>). Интерфейс библиотеки ориентирован исключительно на работу с топологией готовых диаграмм и не содержит кода для расчёта областей Вороного или триангуляции (сам «делонатор» заимствован (<https://github.com/mapbox/delaunator>)). Интерфейс содержит набор методов для работы с топологией, например, поиск ближайших соседей, рендеринг минимальной выпуклой оболочки, рендеринг рёбер ячейки Вороного и др. Библиотека также доступна в модульном варианте, возможна загрузка с помощью менеджера пакетов `npm` платформы `node` (или

уarn от Facebook) и модульная сборка в рамках больших проектов с помощью современных упаковщиков webpack или vite.

Достоинством архитектуры d3-delaunay-main является возможность использования собственного графического контекста, который можно передавать в качестве параметра в методы, связанные с рендерингом. Если не позаботиться о контексте, то вместо рендеринга, методы будут возвращать строки, готовые для использования в SVG, а именно, в элементе path [5]. Команды прорисовки пути (атрибут d) в этом случае, конечно, вычисляются в исходной системе координат.

Продemonстрируем технологию настройки контекста на примере графических устройств canvas и SVG. Для эксперимента сгенерируем ряд случайных точек (points) на площадке $[-5, 5] \times [-5, 5]$:

```
const xmin = -5, ymin = -5, xmax = 5, ymax = 5;
const points = [], N = 50;
for(let i=0; i < N; i++)
  points.push([ xmin + Math.random()*(xmax-xmin),
               ymin + Math.random()*(ymax-ymin) ] );
```

Для построения триангуляции в библиотеке предусмотрен класс Delaunay и его статический метод from:

```
const delaunay = Delaunay.from(points);
```

Здесь предполагается, что библиотека подключена (или как модуль, или непосредственно) и класс Delaunay определён. От триангуляции переходим к диаграмме Вороного:

```
const voronoi = delaunay.voronoi([xmin, ymin, xmax, ymax]);
```

Пока представленные расчёты не требуют конкретного графического контекста и выполняются в некоторой исходной системе координат x и y , которая не годится для рендеринга результатов. Тем не менее, вызов соответствующих методов не приведёт к ошибке, например:

```
voronoi.render()
```

или

```
delaunay.render()
```

Устройство библиотеки таково, что если параметр с конкретным графическим контекстом отсутствует (как в нашем случае), то используется некоторый класс Path со следующим набором методов:

```
class Path {
  moveTo(x, y) {...}
  closePath() {...}
  lineTo(x, y) {...}
  arc(x, y, r) {...}
  rect(x, y, w, h) {...}
}
```

Теперь можно понять, что такое графический контекст — это класс, который должен реализовать представленные выше методы.

Контекст canvas

Разместим соответствующий тег на странице браузера:

```
<!DOCTYPE html>
<html>
<head>
  <meta name="viewport" content="width=device-width, initial-scale=1">
  <style type="text/css">
    html, body {
      margin: 0; padding: 0;
      height: 100vh; width: 100%;
    }
  </style>
</head>
<body>
<canvas></canvas>
</body>
</html>
```

Настроим канву:

```
let canvas = document.querySelector('canvas');
let minSize = Math.min(document.body.clientWidth,
                        document.body.clientHeight);
canvas.clientWidth = minSize; canvas.clientHeight = minSize;
canvas.width= minSize; canvas.height=minSize;
```

Для того чтобы перегрузить методы графического контекста (см. код класса Path выше), необходимо понять, как координаты выбранного кадра соотносятся с пиксельными координатами канвы. В математических терминах с этой целью необходимо построить отображение, представленное на рисунке 1.

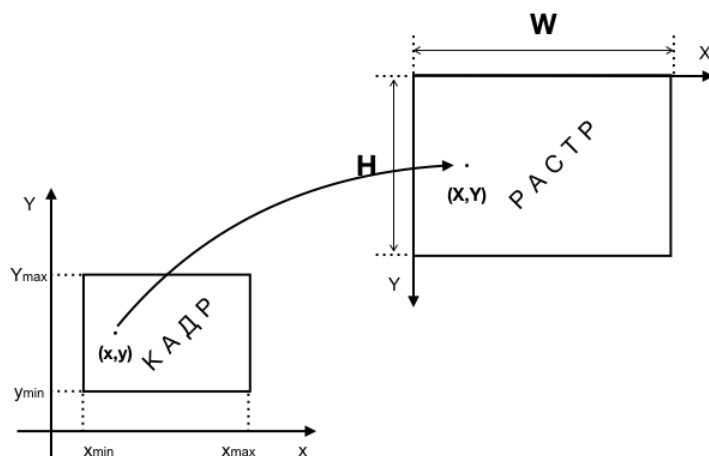


Рис.1. - Переход к графическому контексту

Это отображение реализуется как композиция двух аффинных преобразований. Первое — это перемещение верхнего угла кадра в начало координат, в однородных координатах имеет вид:

$$M = \begin{pmatrix} 1 & 0 & -x_{min} \\ 0 & 1 & -y_{max} \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Второе — это масштабирование (с учётом изменения направления отсчёта ординат):

$$D = \begin{pmatrix} \gamma & 0 & 0 \\ 0 & -\delta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Здесь:

$$\begin{aligned} \gamma &= W / (x_{max} - x_{min}) \\ \delta &= H / (y_{max} - y_{min}) \end{aligned}$$

А W и H размеры канвы (не следует их путать с CSS-определениями свойств width и height).

В результате имеем:

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \gamma & 0 & -\gamma x_{min} \\ 0 & -\delta & \delta y_{min} \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \gamma(x - x_{min}) \\ \delta(y_{max} - y) \\ 1 \end{pmatrix}$$

В соответствии с представленными соотношениями реализуем методы графического контекста:

```
class MyContext {
  constructor(context, xmin, ymin, xmax, ymax, W, H) {
    // context - это контекст канвы (2d-canvas)
    this.context = context;
    this.xmin = xmin; this.ymin = ymin;
    this.xmax = xmax; this.ymax = ymax;
    this.W = W; this.H = H;
  }

  X(x) { return (x-this.xmin) * this.W/(this.xmax-this.xmin) }
  Y(y) { return (this.ymax-y) * this.H/(this.ymax-this.ymin) }

  lineTo(x,y) { this.context.lineTo( this.X(x), this.Y(y) ); }

  moveTo(x,y) { this.context.moveTo( this.X(x), this.Y(y) ); }

  closePath() { this.context.closePath(); }

  arc(x, y, r, angle1, angle2, counterclockwise=false) {
    // против часовой стрелки
    this.context.arc(this.X(x), this.Y(y), r,
                     angle1, angle2, counterclockwise);
  }
}
```

Представленный класс можно использовать для рендеринга в библиотеке d3-delaunay. Вместе с подготовительными действиями (настройка контекста canvas) обращение к библиотечным методам delaunay.render и voronoi.render целесообразно реализовать в виде вспомогательных функций:

```
const drawDelaunay = (myContext, delaunay) => {
  const context = myContext.context; context.save();
  context.strokeStyle = 'black'; context.lineWidth = 0.5;
  context.beginPath();
  delaunay.render(myContext); // вызов метода библиотеки
  context.stroke();
  context.restore();
}

const drawVoronoi = (myContext, voronoi) => {
  const context = myContext.context; context.save();
  context.lineWidth = 2.; context.strokeStyle = 'black';
  context.beginPath();
  voronoi.render(myContext); // вызов метода библиотеки
  context.stroke();
  context.restore();
}
```

Расчёт триангуляции и рендеринг:

```
const xmin = -5, ymin = -5, xmax = 5, ymax = 5;
const points= ... // исходные точки
const canvas = document.querySelector('canvas');
...
// строим контекст
const myContext = new MyContext(canvas.getContext('2d'),
                                xmin, ymin, xmax, ymax, minSize, minSize);

// расчёт триангуляции
const delaunay = Delaunay.from(points);
// расчёт диаграммы Вороного
const voronoi = delaunay.voronoi([xmin, ymin, xmax, ymax]);
// рендеринг
drawVoronoi(myContext, voronoi);
//или drawDelaunay(myContext, delaunay);
```

Результат рендеринга представлен на рисунке 2.

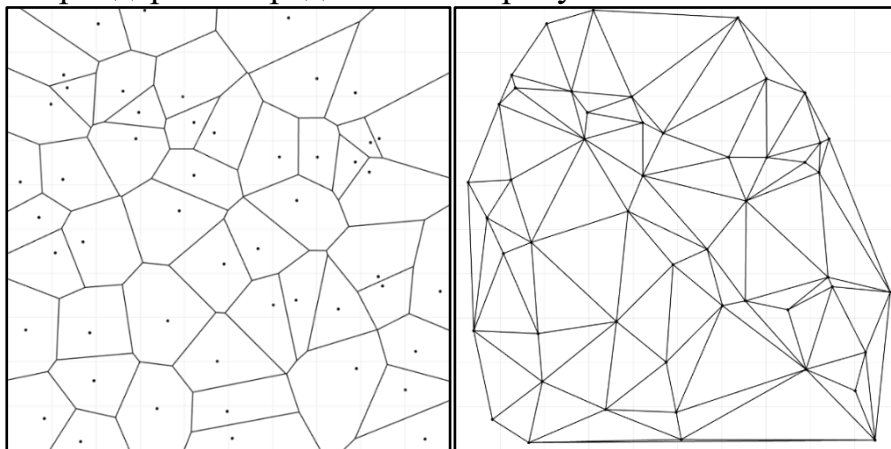


Рис. 2. - Рендеринга диаграммы Вороного и триангуляции Делоне с помощью библиотеки d3 в графическом контексте canvas

Контекст SVG

SVG — популярный в web (и не только) способ описания векторной графики может быть также использован для рендеринга диаграмм Вороного или триангуляции Делоне, если, конечно, правильно настроить графический контекст.

В арсенале средств SVG предусмотрена трансформация [5], позволяющая определить преобразования координат непосредственно в виде матрицы, например, для группы векторов (тег g):

```
<svg width="..." height="...">
  <g transform="matrix(a,b,c,d,e,f)">
    ...
  </g>
</svg>
```

Здесь трансформация (значение атрибута transform) соответствует матрице:

$$\begin{pmatrix} a & c & e \\ b & d & f \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

В нашем случае эта матрица вычисляется следующим образом:

$$DM = \begin{pmatrix} \gamma & 0 & -\gamma x_{min} \\ 0 & -\delta & \delta y_{max} \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Воспользуемся возможностями библиотеки d3 для работы с SVG-графикой:

```
const xmin = -5, ymin = -5, xmax = 5, ymax = 5;
let minSize = Math.min(document.body.clientWidth,
                        document.body.clientHeight);
const points= ... // точки можно определить как и прежде
const width = minSize, height = minSize;
let gamma = minSize/(xmax-xmin), delta = minSize/(ymax-ymin);
const svg = d3.select("body")
.append("svg").attr("width", width).attr("height", height);

const g = svg.append("g")
.attr("transform",
`matrix(${gamma},0,0,${-delta},${-gamma*xmin},${delta*ymax})`);
```

Здесь мы определили группу g и преобразования координат в этой группе в виде матрицы. Остаётся наполнить группу содержимым:

```
// прорисовка точек
points.forEach(pnt=>{
  g.append("circle")
  .attr("cx",pnt[0]).attr("cy",pnt[1]).attr("r",0.02)
  .attr("fill","black").attr("stroke","black")
  .attr("stroke-width",0.01);
});
// прорисовываем диаграмму
```

```
g.append("path")
.attr("fill","transparent").attr("stroke", "black")
.attr("stroke-width",0.02)
.attr("d", voronoi.render());
//.attr("d", delaunay.render());
```

Поиск центра области Вороного и рендеринг границ

Библиотека d3 позволяет работать с топологией диаграммы и воспроизводить её элементы в заданном контексте. Например, по клику мыши требуется найти индекс точки, в область Вороного которой попадает этот клик, а затем, прорисовать границы области жирной линией. В библиотеке d3 есть необходимые для решения этой задачи методы: `voronoi.contains(i, x, y)` и `voronoi.renderCell(i, context)`. Первый метод по заданным координатам точки (x и y) позволяет определить её принадлежность i-ой ячейке Вороного. Второй — прорисовывает границы i-ой ячейки (области) в заданном контексте. Получив пиксельные координаты клика мыши (событие `mousedown`), переходим к исходным координатам, перебираем все области Вороного — находим требуемую и прорисовываем её:

```
canvas.addEventListener("mousedown", e=>{
  let canvas = e.target;
  // от пикселей к координатам
  let x = e.offsetX/e.target.width * (xmax - xmin) + xmin,
      y = ymax - e.offsetY/e.target.height * (ymax - ymin);
  //поиск индекса области Вороного
  let pntNdx = points.findIndex((pnt, ndx) =>
                                voronoi.contains(ndx,x,y));

  // прорисовка
  const context = myContext.context;
  context.strokeStyle = 'black';context.lineWidth = 5;
  context.beginPath();
  voronoi.renderCell(pntNdx, myContext);
  context.stroke();
})
```

Результат представлен на рисунке 3.

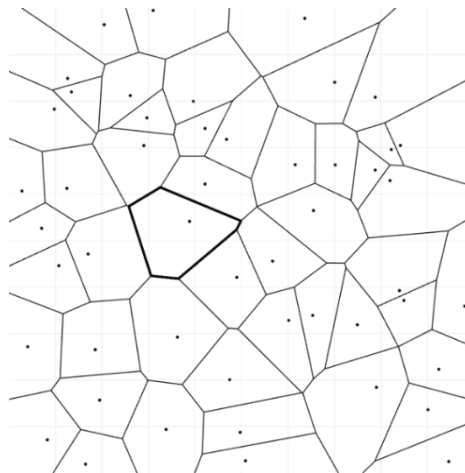


Рис. 3. - Жирной линией прорисована область Вороного, в которой кликнули мышью

Заключение

На примере популярной библиотеки d3 [4, 5] показан общий подход к реализации рендеринга диаграммы Вороного или двойственной ей триангуляции Делоне в контексте различных графических устройств.

Расчёт диаграммы выполняется в некоторой исходной координатной системе, отличной от координатной системы того или иного графического устройства. Это различие не позволяет в полной мере воспользоваться возможностями библиотеки для рендеринга диаграммы или её топологических особенностей. Таким образом, визуализация результатов расчёта требует преобразований координат. Для популярной в web графики canvas и SVG с этой целью достаточно выполнить аффинные преобразования в однородных координатах: сдвиг и масштабирование. Для указанных графических устройств продемонстрирован переход от матрицы результирующего преобразования в однородных координатах к технологическим настройкам графического контекста с примерами кода.

Описанный подход является универсальным и может быть использован для настройки других устройств, например, в контексте Google Maps API.

Библиографический список

1. Лушкин Н.В. Моделирование древесных структур многоугольниками Вороного (ячейками Дирихле) / Н. В. Лушкин, Н. П. Васильев // Информационные системы и технологии: теория и практика: сб. научн. тр, Вып. 9. – СПб.: СПбГЛТУ, 2017. – с. 42-50.
2. Васильев Н.П. Реализация алгоритма Форчуна расчета диаграммы Вороного на РНР. Информационные системы и технологии: теория и практика: сб. научн. тр, Вып. 7 СПб, СПбГЛУ, 2015. с.10-16.
3. The JavaScript library for bespoke data visualization. URL: <https://d3js.org> (дата обращения 15.01.2025).
4. D3-delaunay. URL: <https://d3js.org/d3-delaunay> (дата обращения 15.01.2025).
5. SVG — учебное руководство (пути). URL: <https://developer.mozilla.org/ru/docs/Web/SVG/Tutorial/Paths> (дата обращения 15.01.2025).

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО РЕШЕНИЯ ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИИ ИНФОРМАЦИОННОЙ ПОДДЕРЖКИ КАФЕДРЫ

DEVELOPMENT OF A SOFTWARE SOLUTION FOR INFORMATION SUPPORT ORGANIZATION DEPARTMENTS

***Аннотация.** В данной статье предложено описание программного решения, содержащего необходимый функционал для организации информационной поддержки при работе со студентами. Для разработки данного решения предлагается использование базы данных, пополняемой при помощи экспорта данных из 1С, и программной среды MS Access, посредством которой осуществляется разработка соответствующих форм и запросов.*

***Annotation.** This article describes a software solution that contains the necessary functionality for organizing information support when working with students. To develop this solution, it is proposed to use a database that is updated by exporting data from 1C, and the MS Access software environment, through which the corresponding forms and queries are developed.*

***Ключевые слова:** формы, запросы, база данных, MS Access, 1С.*

***Keywords:** forms, queries, database, MS Access, 1C.*

Введение

В условиях современного образовательного процесса информационные технологии становятся основой для эффективного взаимодействия между преподавателями и студентами.

Автоматизация управления учебным процессом в Санкт Петербургском государственном лесотехническом университете базировалась на комплексе программных средств (КПС) разработанных лабораторией математического моделирования и информационных систем (ММИС). Информационной основой для КПС является реляционная база данных (БД) под управлением СУБД MS SQL Server. Автоматизированная система управления учебным процессом (АСУУП) внедряется в университете с 2005 года [1].

Переход университета на платформу 1С открыл новые горизонты для автоматизации учебных процессов и управления данными. Однако, несмотря на все преимущества, этот переход также выявил серьезные про-

блемы, связанные с отсутствием доступа к критически важной информации, необходимой для работы кафедр.

Кафедры столкнулись с определёнными трудностями в процессе получения актуальной информации о студенческом контингенте, а также успеваемости студентов, что негативно сказывается на качестве процесса взаимодействия и усложняет организацию учебной деятельности. Отсутствие централизованного и удобного доступа к информации приводит к задержкам в обработке запросов, снижению эффективности коммуникации и увеличению нагрузки на преподавателей.

В связи с вышеизложенным, существует настоятельная необходимость в разработке программного решения, которое обеспечит надёжную информационную поддержку кафедры. Это решение должно позволить преподавателям и студентам легко и быстро получать доступ к необходимым данным, улучшить взаимодействие между участниками образовательного процесса и автоматизировать рутинные задачи.

Постановка задачи

В связи с переходом университета на 1С кафедры столкнулись с отсутствием доступа к информации, которая является основной для работы со студентами. Например: печать списка студентов, анализ успеваемости студентов, формирование приказов на практику и так далее.

В данной работе предлагается разработать программное решение, содержащее необходимый функционал для работы со студентами.

Основой для данного решения является база данных, пополняемая с помощью экспорта данных из 1С.

В качестве программного средства будет использоваться MS Access.

MS Access – это реляционная система управления базами данных. С её помощью осуществляется подключение к удалённой базе данных на сервере и создаются запросы, формы и отчёты.

Создание формы и запросов для программного решения

Перед разработкой формы приложения были сформированы данные для него посредством экспорта данных из 1С.

С помощью встроенного в 1С конструктора запросов формируется запрос на выборку соответствующих данных (рисунок 1).

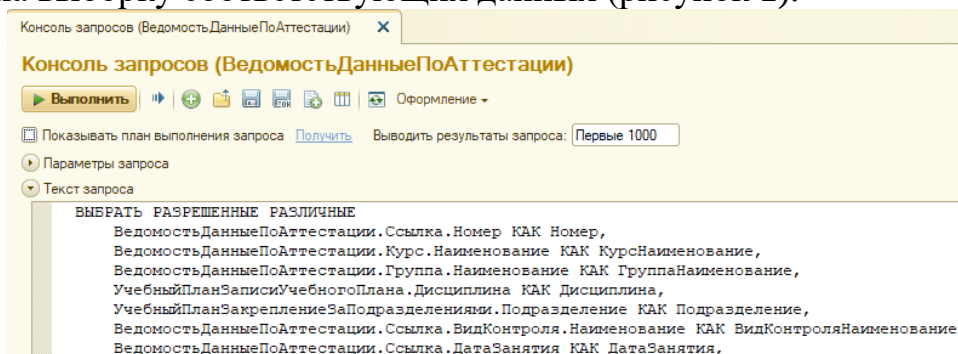


Рис. 1 Запрос на выборку данных

Далее была разработана форма приложения с кнопками [2], каждая из которых запускает определенное действие (рисунок 2).

Информационная поддержка кафедры ИСиТ

**Обеспечение информационной поддержки
кафедры
информационных систем и технологий**

Печать списка студентов

Рейтинговые ведомости кафедры

Анализ успеваемости студентов

Разработала: студ. Ветчинкина А.А.

Рис. 2 Форма приложения

При нажатии на кнопку «Печать списка студентов» появляется окно с данными по студентам, где в верхней половине формы содержатся выпадающие списки для формирования списка студентов, в нижней половине формируется сам список (рисунок 3). При нажатии на кнопку «Печать» выводится список студентов на печать (рисунок 4).

Данные по студентам

Учебный год: 2024 - 2025

Институт: Институт леса и природопользования

Форма обучения: Очная

Курс: 4 курс

Группа: ЛП6-ИСИТ-21-1

Состояние: Является студентом

Всего студентов: 26

Фамилия	Имя	Отчество	Зачетная книга	Источник финансирования	Состояние
Аргун	Отар	Русланович	301014	бюджет	Является студентом
Бабурин	Тимофей	Дмитриевич	301015	бюджет	Является студентом
Барцыц	Анри	Омариевич	301016	бюджет	Является студентом
Валышков	Михаил	Александрович	301017	бюджет	Является студентом
Ветчинкина	Алёна	Александровна	301019	бюджет	Является студентом
Гогия	Аслан	Гизович	301023	бюджет	Является студентом
Гущева	Анастасия	Артемовна	301025	бюджет	Является студентом

Рис. 3. Форма «Данные по студентам»

Данные_по_студентам				
Список группы ЛПб-ИСиТ-21-1				
Фамилия	Имя	Отчество	Зачетная книга	Основания обучения
Аргун	Отар	Русланович	301014	бюджет
Бабурин	Тимофей	Дмитриевич	301015	бюджет
Барццц	Анри	Омариевич	301016	бюджет
Валышков	Михаил	Александрович	301017	бюджет
Ветчинкина	Алёна	Александровна	301019	бюджет
Гогия	Аслан	Гизович	301023	бюджет
Гущева	Анастасия	Артемовна	301025	бюджет
Давлатходжаев	Лазиз	Махбаткадамович	301026	бюджет
Добровольский	Денис	Игоревич	301027	бюджет
Дурдиев	Отабек	Кабулязович	301028	бюджет
Ефанов	Владимир	Александрович	301029	бюджет
Жданков	Илья	Вячеславович	301030	бюджет

Рис. 4. Сформированный список студентов

При нажатии на кнопку, расположенную ниже кнопки «Печать», появится окно вывода списка студентов во внешний файл [3], где есть возможность выбрать необходимый формат для вывода списка студентов (рисунок 5). Например, при выборе формата «Книга Excel 97-2003» список сформируется в файле Excel (рисунок 6).

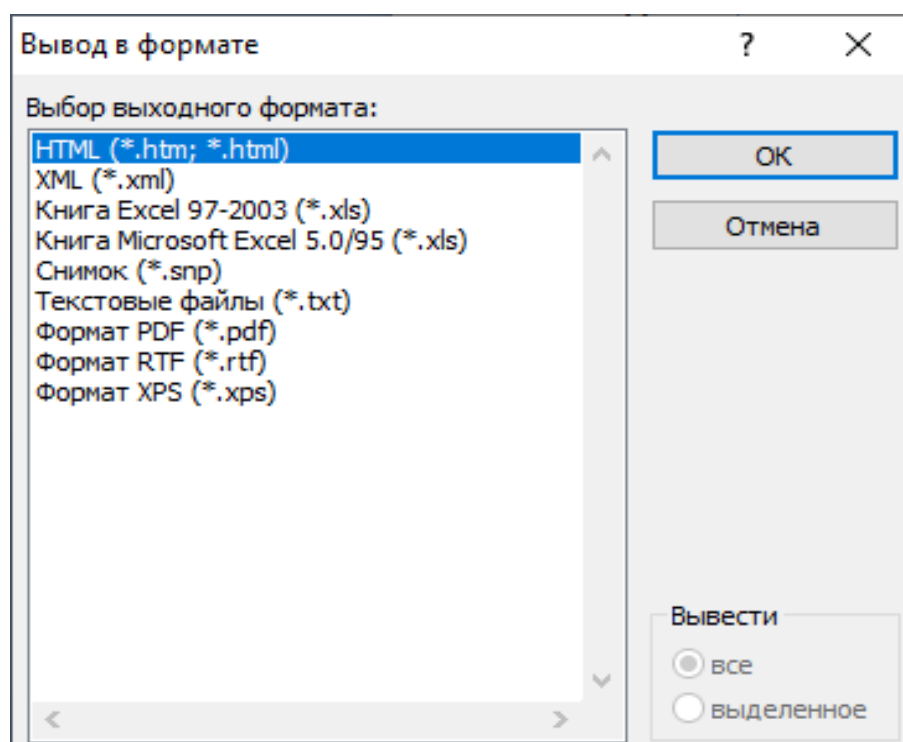


Рис. 5. Вывод во внешний файл

	A	B	C	D	E
1	ЛПб-ИСиТ-21-1				
2	Фамилия	Имя	Отчество	ЗачетнаяКнига	Основания_обучения
3	Аргун	Отар	Русланович	301014	бюджет
4	Бабурин	Тимофей	Дмитриевич	301015	бюджет
5	Барцыц	Анри	Омариевич	301016	бюджет
6	Валышков	Михаил	Александрович	301017	бюджет
7	Ветчинкина	Алёна	Александровна	301019	бюджет
8	Гогия	Аслан	Гизович	301023	бюджет
9	Гущева	Анастасия	Артемовна	301025	бюджет

Рис. 6. Список студентов в формате «Книга Excel 97-2003»

Кнопка «Рейтинговые ведомости кафедры» открывает окно с выпадающими списками для вывода определённой ведомости (рисунок 7). В нижней половине окна расположена кнопка «Вывести рейтинговую ведомость», которая открывает форму рейтинга указанной группы (рисунок 8).

Печать рейтинговых ведомостей

Кафедра

Информационных систем и технологий

Дисциплина

Интеллектуальные системы и технологии (Экзамен)

Группа

ЛПб-ИСиТ-21-1

Вывести рейтинговую ведомость

Рис. 7. Формирование рейтинговой ведомости

Интеллектуальные системы и технологии																
ЛПб-ИСиТ-21-1																
Всего студентов 27																
Фамилия	Имя	Отчество	Зачетная книга	Точка 1 (ТО)	Точка 1 (ПО)	Точка 1 (ЛО)	Точка 1 (СО)	Точка 1 (итог)	Точка 2 (ТО)	Точка 2 (ПО)	Точка 2 (ЛО)	Точка 2 (СО)	Точка 2 (итог)	Надбавка	Рейтинг	Итоговая оценка
Аргун	Отар	Русланович	301014													Неявка
Бабурин	Тимофей	Дмитриевич	301015	90		90		90	83		95		90,2		90,1	Отлично
Барцыц	Анри	Омариевич	301016													Неявка
Валышков	Михаил	Александрович	301017	51				20,4	62		70		66,8		43,6	Хорошо
Ветчинкина	Алёна	Александровна	301019	75		90		84	75		95		87		85,5	Отлично
Гогия	Аслан	Гизович	301023													Неявка
Гущева	Анастасия	Артемовна	301025													Неявка
Давлатходжаев	Лазиз	Махбаткадамович	301026													Неявка
Добровольский	Денис	Игоревич	301027													Неявка

Рис. 8. Вывод рейтинга

При нажатии на кнопку «Анализ успеваемости студентов» появится окно с двумя выпадающими списками для выбора успеваемости конкретного студента (рисунок 9). Кнопка в нижней половине данной формы

«Вывод отчёта по успеваемости» откроет форму успеваемости студента (рисунок 10).

Анализ успеваемости студентов

Группа: ЛПБ-ИСИТ-21-1

ФИО: Ветчинкина Алёна Александровна

Вывод отчёта по успеваемости

Рис. 9. Анализ успеваемости студентов

Анализ успеваемости студентов

Дисциплина	Оценка
Администрирование в инфокоммуникационных системах	Отлично
Геоинформационные системы в лесном деле	Отлично
Интеллектуальные системы и технологии	Отлично
Методы и средства проектирования инфокоммуникационных систем и технологий	Зачтено
Методы искусственного интеллекта	Зачтено
Технологии разработки приложений для мобильных платформ	Зачтено
Экономика предприятия и производственный менеджмент	Зачтено
Выполнение и защита выпускной квалификационной работы	
Основы военной подготовки	
Производственная практика. Преддипломная практика	
Аэрокосмические методы в лесном деле	
Беспроводные сенсорные сети	
Методы и средства проектирования инфокоммуникационных систем и технологий	
Методы искусственного интеллекта	
Технологии анализа и обработки Big Data	
Технологии разработки приложений для мобильных платформ	

Рис. 10. Успеваемость указанного студента

Заключение

Создание программного решения не только упростит текущие рабочие процессы, но и значительно повысит общую эффективность работы кафедры, что в конечном итоге приведет к улучшению качества образования и удовлетворенности всех участников учебного процесса.

Разработанные формы позволяют быстро получить необходимую информацию о студентах в удобном формате. Также следует отметить возможность дальнейшего расширения функциональных возможностей таких, как:

- Создание различных печатных форм (ведомости, успеваемость);
- Формирование свода по успеваемости студентов;
- Анализ успеваемости студентов;

- Ведение журнала посещаемости студентов.

Библиографический список

1. Горбачев В.А. Анализ успеваемости университета с использованием SQL Server Analysis Services ВПО // В сборнике: Информационные системы и технологии: теория и практика. Сборник научных трудов. Отв. редактор М.Р. Вагизов. Санкт-Петербург, 2021. С. 58-71.
2. Логачева Л.Г. Анализ и обработка результатов приемной кампании для формирования форм мониторинга ВПО // В сборнике: Информационные системы и технологии: теория и практика. Сборник научных трудов. Отв. редактор М.Р. Вагизов. Санкт-Петербург, 2023. С. 103-108.
3. Логачев А.А. Назначение повышенной государственной академической стипендии с использованием информационной системы СПБГЛТУ // Информационные системы и технологии: теория и практика. Сборник научных трудов, Санкт-Петербург. - СПбГЛТУ, 2023. - С. 98-103.

В. А. Груздев, кандидат военных наук, доцент
кафедра общей тактики и оперативного искусства
Высшей Военной школы Генерального штаба
Вооруженных сил республики Ангола

И. Б. Михайлов, кандидат технических наук, доцент
кафедра общей тактики и оперативного искусства
Высшей Военной школы Генерального штаба
Вооруженных сил республики Ангола

Д.М. Челахов, кандидат технических наук, доцент
кафедра общей тактики и оперативного искусства
Высшей Военной школы Генерального штаба
Вооруженных сил республики Ангола
info@faa.ao

ПОСТРОЕНИЕ СТРУКТУРЫ КОМПЛЕКСА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ДОСТУПНОСТИ ОБЪЕКТОВ РАДИОКОНТРОЛЯ

CONSTRUCTION OF THE STRUCTURE OF A COMPLEX FOR FORECASTING INDICATORS OF ELECTROMAGNETIC AVAILABILITY OF RADIO CONTROL OBJECTS

***Аннотация:** в статье разработана структура комплекса прогнозирования показателей электромагнитной доступности объектов радиоконтроля, при условиях воздействия на передаваемый сигнал ионосферных неоднородностей.*

Abstract: the article develops a structure for a forecasting complex for the indicators of electromagnetic availability of radio monitoring objects, under conditions of the impact of ionospheric irregularities on the transmitted signal.

Ключевые слова: радиоконтроль; комплекс прогнозирования показателей электромагнитной доступности; электронная концентрация ионосферы.

Keywords: radio monitoring; forecasting complex for electromagnetic availability indicators; electron concentration of the ionosphere.

Введение

Важнейшую роль в комплексе мероприятий при решении задач по эффективному управлению использованием радиочастотного спектра, оценкой и обеспечением электромагнитной совместимости радиоэлектронных средств играет внешний радиоконтроль.

Так как радиоконтроль осуществляется в радиоканале связи, то для систем радиоконтроля актуальна проблема обеспечения высокого показателя электромагнитной доступности. Данный показатель можно количественно выразить с помощью вероятности ошибки $P_{ош}$. Вероятность ошибки показывает отношение количества ошибочно распознанных символов при приеме информационного сигнала к общему числу принятых символов. Таким образом данный параметр количественно характеризует показатель электромагнитной доступности.

Целью исследований является обеспечение требуемой электромагнитной доступности объектов радиоконтроля при условиях негативного воздействия на передаваемый сигнал ионосферных неоднородностей.

На данный момент существует ряд исследований, связанных с обеспечением электромагнитной доступности объектов радиоконтроля спутниковой связи. Например, в [1] освещаются вопросы радиоконтроля и его помехоустойчивости. Однако, данные исследования не учитывают неблагоприятного воздействия на электромагнитную доступность объектов радиоконтроля ионосферных возмущений.

Постановка задачи

Разработать структуру комплекса прогнозирования показателей электромагнитной доступности объектов радиоконтроля. Данная структура должна отражать функционал комплекса, который включает в себя прием данных от поста радиоконтроля, обработку этих данных, реализацию математического аппарата обработки данных, хранение обработанных данных.

Решение

В [2] описан метод определения мелкомасштабных неоднородностей полного электронного содержания ионосферы применительно к системам

спутниковой связи. Данный способ также возможно применить для систем радиоконтроля спутниковой связи.

Для прогнозирования показателей электромагнитной доступности объектов радиоконтроля при изменении условий распространения радиоволн (использовании пониженной несущей частоты) необходимо разработать комплекс, который должен иметь в своем составе GISTM-приёмник, блок определения среднеквадратичного отклонения (СКО) мелкомасштабных вариаций полного электронного содержания (ПЭС) ионосферы $\sigma_{\Delta N_{TM}}(t)$, блок определения среднего энергетического отношения сигнал/шум $\langle h^2(t) \rangle$, блок определения значения параметра Райса $\gamma^2(t)$, а также блоки определения показателя электромагнитной доступности и вероятности ошибочного приема информационных символов $P_{\text{ош}}(t)$.

Согласно соотношению Найквиста, минимальный период возмущения, которое может быть зарегистрировано при периоде дискретизации данных Δ , равен $t_{B \min} = 2\Delta$. При этом на каждый период приходится два временных отсчета, кроме того, предполагается, что возмущение имеет синусоидальный (волновой) характер. На практике для уверенного выделения возмущения двух отсчетов на период оказывается недостаточно. Это связано с тем, что в чистом виде гармонические возмущения в ионосфере не реализуются в силу дисперсионных свойств среды. Опыт ионосферных измерений показал, что для эффективной селекции возмущения в ряду вариаций ПЭС требуется от пяти до десяти временных отсчетов Δ на период, то есть минимальный период возмущения, которое может быть зарегистрировано, составляет $t_{B \min} \approx 5\Delta \dots 10\Delta$. Необходимо использовать современный GISTM-приемник позволяющий производить измерения ПЭС с минимальным периодом дискретизации $\Delta = 0,02$ с.

На основе существующих методик выделения, отдельных составляющих ряда вариаций ПЭС, обусловленных наличием в ионосфере крупномасштабных и среднемасштабных неоднородностей электронной концентрации (ЭК), разработана методика измерения вариаций ПЭС, обусловленных наличием мелкомасштабных ионосферных неоднородностей, описанная в [2].

Суть методики заключается в следующем:

1) исходный ряд вариаций электронного содержания

$$N_T(t) = N_{TO}(t) + \Delta N_{TKP}(t) + \Delta N_{TCP}(t) + \Delta N_{TM}(t) + \Delta N_{TШ}(t)$$

сглаживается методом скользящей средней с окном $t_{\text{сгл}1} = 1$ мин;

2) полученный в результате сглаживания тренд невозмущенной ионосферы, крупно- и среднемасштабных возмущений

$$\langle N_T(t) \rangle = N_{TO}(t) + \Delta N_{TKP}(t) + \Delta N_{TCP}(t)$$

вычитается из исходного ряда, который в результате принимает вид комбинации мелкомасштабных возмущений и шумов

$$N_T(t) = \Delta N_{TM}(t) + \Delta N_{TШ}(t) ;$$

3) ряд вариаций ПЭС

$$N_T(t) = \Delta N_{TM}(t) + \Delta N_{TШ}(t)$$

сглаживается методом простой скользящей средней с окном $t_{сгл2} = 0,1с$, что обеспечивает удаление шумовой составляющей $\Delta N_{TШ}(t)$. В результате получается ряд мелкомасштабных вариаций ПЭС $N_T(t) = \Delta N_{TM}(t)$

Общая структурная схема комплекса прогнозирования показателей электромагнитной доступности с пониженной несущей частотой приведена на рисунке 1.



Рис. 1. – Общая структурная схема комплекса прогнозирования показателей электромагнитной доступности, с пониженной несущей частотой

Алгоритм работы комплекса представлен на рисунке 2.



Рис. 2. – Алгоритм работы комплекса прогнозирования показателей электромагнитной доступности, с пониженной несущей частотой

Действия алгоритма пронумерованы в соответствии со структурной схемой разрабатываемого комплекса.

Для работы данной структурной схемы требуется реализация программной части комплекса на основе описанного алгоритма.

Выводы

В ходе исследования описана методика прогнозирования показателя электромагнитной доступности объектов радиоконтроля спутниковой связи. Методика основывается на измерении показателя ПЭС ионосферы. Значения ПЭС преобразуются путем сглаживаний для последующего расчета параметра Райса, который, в свою очередь, используется для вычисления искомого показателя вероятности ошибки, который характеризует электромагнитную доступность объектов.

На основании описанной методики разработана общая структура программно-аппаратного комплекса прогнозирования показателей электромагнитной доступности объектов радиоконтроля спутниковой связи. Проанализированы необходимые аппаратные средства, а именно GISTM-

приёмник, имеющий возможность снятия показаний с высокой частотой дискретизации. Составлен пошаговый алгоритм работы комплекса.

Библиографический список

1. Кузин П.И. Способ адаптивного обнаружения нарушений безопасности связи в сетях спутниковой связи. Вопросы оборонной техники. Серия 16: Технические средства противодействия терроризму. 2019. № 7-8 (133-134). С. 99-102.
2. Липатников В.А., Соломатин А.И., Терентьев А.В. Радиопеленгация. Теория и практика. – СПб.: ВАС, 2006. - 356с.

А.М.Заяц, кандидат технических наук, профессор
Кафедра информационных систем и технологий
СПбГЛТУ им.С.М. Кирова
zamfta@yandex.ru

СМАРТ-КОНТРАКТЫ В ЛЕСНОМ БИЗНЕСЕ

SMART CONTRACTS IN THE FORESTRY BUSINESS

Аннотация: рассматриваются особенности использования смарт-контрактов в лесном бизнесе, приводятся источники и схема передачи информации от этих источников необходимой для заключения смарт-контрактов в лесном бизнесе, а также рассматриваются необходимые условия для их реализации в блокчейн системе.

Abstract: The peculiarities of using smart contracts in forestry business are considered, the sources and scheme of transferring information from these sources necessary for conclusion of smart contracts in forestry business are given, and also necessary conditions for their realization in blockchain system are considered.

Ключевые слова: стратегия развития лесного комплекса, блокчейн, транзакция, смарт-контракты, оракулы, условия выполнения смарт-контрактов, программный смарт-код.

Keywords: forestry development strategy, blockchain, transaction, smart contracts, oracles, smart contract fulfillment conditions, software smart code.

Современное развитие лесной отрасли, характеризуется разворотом в сторону цифровой трансформации бизнес процессов, решение которой требует разработки новых средств и способов управления на базе иннова-

ционных информационных технологий, адаптированных к особенностям лесного бизнеса.

В стратегии развития лесного комплекса Российской Федерации до 2030 отмечается, что цифровой трансформацией лесной отрасли является переход от обмена бумажными документами к электронному обмену данными, введению цифровых реестровых моделей и отказу от излишней и дублирующей информации. При этом основным направлением развития информатизации в лесном хозяйстве должно стать создание автоматизированной информационной системы как единой платформы для обеспечения информационно-аналитической поддержки деятельности лесного бизнеса и должностных лиц в области лесных отношений [1].

Единая автоматизированная информационная система позволит получать, обрабатывать, хранить и использовать информацию о состоянии лесов, их количественных и качественных характеристиках, их использовании, охране, защите и воспроизводстве, что обеспечит повышение: достоверности и оперативности предоставления информации для принятия управленческих решений.

Этим задачам отвечает, одна из перспективных и быстроразвивающихся технологий в цифровой экосистеме – технология распределенного реестра данных или блокчейн, которая легко реагирует, адаптируется и масштабируется при изменении условий ведения лесного бизнеса.

В разработанной стратегии также определена задача обеспечения прослеживаемости всей цепочки движения древесины, от заготовки на лесосеке до производства продукции или вывоза за рубеж, включая все промежуточные этапы: лесные склады, производства и контроль сопроводительных документов в электронном виде.

Эту задачу в логистической цепочке движения древесины можно решить путем применения, так называемых умных контрактов (смарт-контрактов) при ведении лесного бизнеса, в которых прописываются все условия сделок и перемещения продукции [2].

Смарт-контракт как управляемая событиями программа ЭВМ, образованная из юридического текста в исполняемый программный код, функционирует в распределенном, децентрализованном реестре\блокчейн-системе и управляет передачей любых «оцифрованных» активов и материальных объектов в соответствии с прописанными в ней условиями.

Фактически результат выполнения программы определен последовательностью выполняемых транзакций в блокчейн – системе при достижении заданных в смарт-контракте условий. Практически повлиять, заставить убрать код смарт-контракта или изменить его нельзя, так как программа после внедрения в блокчейн тиражируется по множеству узлов сети и не подлежит изменению. Блокчейн технологии в применении смарт-контрактов хороши тем, что они одновременно реализуют в неизменном виде учет и взаиморасчет [3, 4].

С помощью смарт-контрактов компании поставщики лесной продукции могут устанавливать цепочку движения груза, которая позволяет от-

слеживать перемещение от места отправки до места назначения, включая и детализируя все промежуточные этапы по событиям грузоперевозки. Это повышает уровень безопасности и уменьшает число "серых" зон, участков, где нет информации по движению груза и утерянных отправок.

Все эти действия в смарт-контракте исполняются как определенный сценарий, «привязанный» к блокчейн. Как только он запускается транзакцией и проверяется в блокчейн сети, выполняется смарт-код реализующий predetermined действия, отраженные в контракте.

Так как в транзакциях, реализующих смарт – контракт, прописываются все грузоотправители лесной продукции и перевозчики, а также другие участники цепочки поставок, то здесь можно видеть параметры каждого груза: его маршрут, скорость, документы, а также все внесенные изменения (когда, почему и кем). Это повышает доверие между разными компаниями, которым приходится работать вместе в рамках одной цепочки поставок.

Поскольку условия смарт-контракта прозрачно хранятся в блокчейне, он всегда будет работать так, как задумали все стороны участники договора, что может уменьшить проблемы доверия между ними.

Логистика и поставки — это всегда очень большое количество данных о перевозках, маршрутах следования грузов, поставщиках, клиентах и т. д. Если всю эту информацию объединить на базе блокчейн в смарт-контрактах, процесс ее обработки значительно упростится, а значит, будет совершаться гораздо меньше ошибок, связанных с человеческим фактором.

Исполнение условий, заложенных в смарт-контракты, часто зависит от информации, находящейся в сторонних информационных системах и сервисах. Для получения данных из этих внешних источников и использования их в работе смарт-контрактов, применяются специализированные программные средства – оракулы. Оракулы являются основным механизмом для связи блокчейн с внешним миром. Упрощенная схема взаимодействия смарт-контракт с внешними источниками данных представлена на рисунке 1.

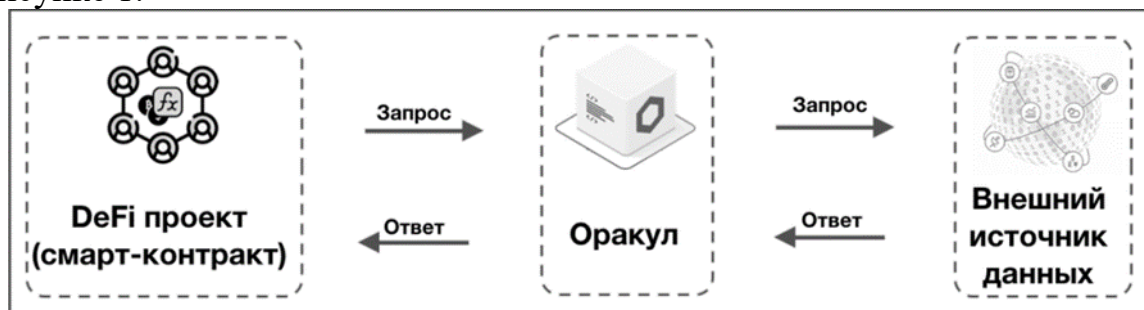


Рис. 1. - Схема передачи информации из внешних источников в смарт-контракт

Из рисунка 1 видно, что эта схема на первый взгляд проста — запрос ответ, а оракул как мост осуществляет соединение внешнего источника информации находящегося за периметром системы, где реализуется смарт-

контракт. Однако в реальности программная реализация оракула достаточно сложна, так он взаимодействует с источниками информации различной природы, передающими данные различного формата и уровня достоверности. Проверку достоверности данных получаемых из различных источников можно осуществлять, используя искусственный интеллект, при этом какие модели машинного обучения для этого применимы, какой будет точность, независимы ли эти источники — все эти вопросы должны рассматриваться для каждого конкретного события отдельно.

Оракулом может быть любой объект, который передает внесетевые данные в блокчейн, где узлы производят транзакции по заданному алгоритму. Случается, что внутри смарт-контракта происходит слишком много вычислений в этом случае также можно подключить оракул для вычислений.

В смарт-контрактах для получения информации необходимой для выполнения условий договоров может быть реализовано взаимодействие с федеральной государственной информационной системой лесного хозяйства и с различными федеральными органами рисунок 2. Эта информация используется в алгоритмах реализации смарт-контрактов и прописываются на этапе их разработки и в дальнейшем отражается в условиях выполнения смарт-контрактов.

В настоящее время при разработке смарт – контрактов используют следующие способы:

- разработка полностью на языке программирования при этом обычно не существует копии на естественном языке;

- дублирование предполагает, что договор составлен в программном коде и имеет копию на естественном языке;

- в смешанной модели договор составлен на естественном языке, а часть его положений выбранных участниками договора, в которых обязательна проверка входных данных на корректность и возможна кодовая интерпретация действий контракта, отражена в программе. Сегодня это самая логичная и часто используемая модель.

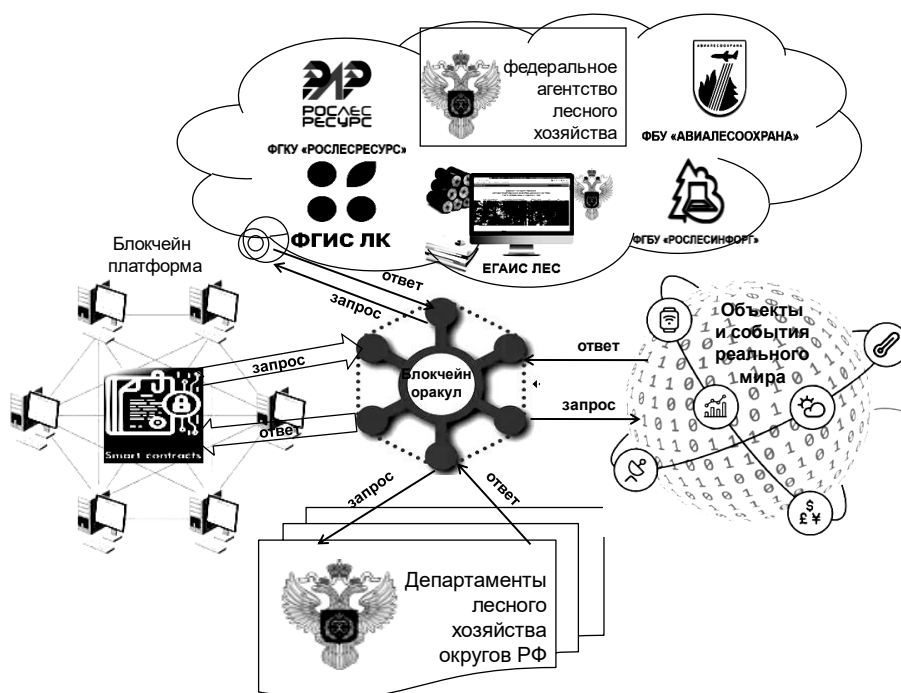


Рис. 2. - Источники внешней информации для смарт – контрактов

Подводя итоги, следует отметить, что в настоящее время еще существуют опасения заключать смарт-контракты по причине их новизны и неопределенности в точности понимания правовых последствий. Однако практика заключения и использования смарт-контрактов активно распространяется.

Дальнейшее совершенствование законодательства, в частности, в вопросах, касающихся терминологии, отправных гражданско-правовых норм, базового правового положения совершения сделок с цифровыми правами, а также совершения и исполнения сделок в цифровой среде приведет к более масштабному использованию смарт-контрактов.

Библиографический список

1. Стратегии развития лесного комплекса РФ до 2030 года.
<http://static.government.ru/media/files/cA4eYSe0MObgNpm5hSavTdIxID77KCTL.pdf>
2. Заяц, А. М. Блокчейн-системы и технология: учебное пособие для вузов / А. М. Заяц. — Санкт-Петербург: Лань, 2024. — 112 с. — ISBN 978-5-507-48522-2. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/385955>
3. Вашкевич А. М. Смарт-контракты: что, зачем и как. — М.: Симплоер, 2018 — 89 с.
4. IPChain.Смарт-контракт.
<https://rspp.ru/upload/iblock/2f9/IPChain%20Смарт-контракты.pdf>

С.Е. Иванов, кандидат технических наук, доцент
кафедра общепрофессиональных дисциплин
Военная академия связи имени С.М. Буденного
vas.2kaf@mail.ru

П.И. Кузин, кандидат технических наук, доцент
кафедра информационных систем и технологий
СПбГЛТУ имени С.М. Кирова
kuzik78@mail.ru

Е.И. Кузина, преподаватель
кафедра общепрофессиональных дисциплин
Военная академия связи имени С.М. Буденного
vas.2kaf@mail.ru

М.А. Креков, преподаватель
кафедра общепрофессиональных дисциплин
Военная академия связи имени С.М. Буденного
vas.2kaf@mail.ru

ОЦЕНКА ВСПОМОГАТЕЛЬНОГО ТРАФИКА ПРИ СЕТЕВОМ КОНТРОЛЕ

ESTIMATION OF AUXILIARY TRAFFIC IN NETWORK MONITORING

Аннотация: в статье предложена модель оценки вспомогательного служебного трафика при управлении безопасностью информационной сети, которая необходима для анализа служебного трафика, так как является источником информации о сети.

Abstract: in the paper proposes a model for assessing auxiliary service traffic in information network security management, which is necessary for analyzing service traffic, as it is a source of information about the network.

Ключевые слова: сетевой контроль, вспомогательный служебный трафик, источник информации, кибербезопасность.

Key words: network control, auxiliary service traffic, information source, cyber security.

Введение.

В настоящее время наблюдается рост количества и развитие информационных систем (ИС) в киберпространстве (КП). При осуществлении сетевого контроля (СК), внимание уделяется анализу служебного трафика, т.к. нарушитель может получить сведения. Следовательно, при СК необходимо выявлять уязвимости служебной информации [1].

Задача.

Обеспечить достоверность показателя процесса анализа служебного трафика от внутренних и внешних параметров.

Решение задачи заключается в анализе динамики действий нарушителя, обработке и определении уязвимостей системы защиты информации.

Предлагается следующая структура информационно вычислительной сети (ИВС), состоящая из следующих элементов:

сетевые устройства, такие как маршрутизаторы и коммутаторы, главной задачей которых является обеспечение обмена данными между различными сегментами ИВС;

демилитаризованная зона (ДЗ), участок ИВС, находящийся на ее границе и соединяющийся с сетью интернет через маршрутизатор;

серверная ферма, здесь располагаются серверы, обеспечивающие работу различных служб, используемых внутри ИВС (файловый сервер, сервер баз данных, сервер службы каталогов и другие);

пользовательская локальная вычислительная сеть (ЛВС), состоящая из рабочих мест, сетевых принтеров, телефонов и других устройств.

Цифровой поток (ЦП) входящий и исходящий из сети Интернет, вначале проходит предварительную фильтрацию межсетевым экраном, после чего анализируется на предмет наличия атак.

Детальный анализ информации позволит увеличить достоверность выявления вредоносного воздействия. Разработана общая структура процесса анализа служебного трафика при сетевом контроле (рисунок 1).



Рис. 1. - Структура процесса анализа служебного трафика при сетевом контроле

Процесс управления ИВС должен получать информацию о текущем состоянии путем анализа ЦП соединения. Для обеспечения требуемой достоверности целесообразно учитывать свойства структуры ЦП, передаваемого в канале связи [2].

Иерархическая протокольная структура ЦП ИВС может быть представлена алгеброй вида $A \leq S, \{\oplus\}, \{R\}$, где множество каждого (N)-соединения, является подмножеством элементов базы данных потока (БДП) (N-1)-протокола:

Выражения представляют собой не что иное, как модель иерархии

$$A_{(N)} = \langle S_{(N)-БДП}, \{\hat{A}\}, \{R_{(N)}\} \rangle;$$

$$A_{(N)} = \langle S_{(N)-БДП}, \{\hat{A}\}, \{R_{(N)}\} \rangle;$$

$$A_{(N)-БДС} = \langle S_{(N-1)-БДП}, \{\hat{A}\}, \{R_{(N-1)-БДС}\} \rangle;$$

$$A_{(N-1)} = \langle S_{(N-1)-БДП}, \{\hat{A}\}, \{R_{(N-1)}\} \rangle \text{ и т.д.}$$

логических соединений в сквозном физическом канале ИС между двумя оконечными системами.

Заключение.

Таким образом, оценка ЦП вспомогательного трафика соединения ИВС при управлении СК учитывает свойства структуры ЦП, передаваемого в канале связи. Положительный эффект представляется получением возможности моделирования функционально-логической архитектуры ИВС по отображениям на ЦП логических соединений в физических каналах связи, иерархическую взаимосвязь протоколов, что позволяет указывать местоположение и взаимосвязи структурных элементов ЦПС - носителей параметров нарушений, управляющей информации и данных пользователей.

Библиографический список

1. Сорокин М.А., Курило А.А., Кузин П.И. Модель процесса анализа служебного трафика при управлении безопасностью информационной сети. Вопросы оборонной техники. Серия 16: Технические средства противодействия терроризму. 2021. № 1-2 (151-152). С. 67-73.
2. Липатников В.А., Кузин П.И., Рабин А.В. Метод повышения надежности помехозащищенности при приеме информации в системах радиосвязи СВЧ, КВЧ диапазонов Радиотехника. 2020. Т. 84. № 8 (16). С. 5-12

П.И. Кузин, кандидат технических наук, доцент
кафедра информационных систем и технологий
СПбГЛТУ имени С.М. Кирова
kuzik78@mail.ru

Е.И. Кузина, преподаватель
кафедра общепрофессиональных дисциплин
Военная академия связи имени С.М. Буденного
vas.2kaf@mil.ru

М.А. Креков, преподаватель
кафедра общепрофессиональных дисциплин
Военная академия связи имени С.М. Буденного
vas.2kaf@mil.ru

ПРОБЛЕМА ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОНФИГУРАЦИИ ФИЗИЧЕСКОГО УРОВНЯ ЦИФРОВОЙ СЕТИ

THE PROBLEM OF DEFINITION OF CONFIGURATION OF A PHYSICAL LAYER OF A DIGITAL NETWORK

Аннотация: в статье приводится подробный анализ методов и способов, а также исследование возможности их применения в оптических транспортных сетях специального назначения, реализованных на разнородных технологиях коммутации каналов.

Abstract: The paper provides a detailed analysis of methods and techniques, as well as the study of the possibility of their application in optical transport networks for special purposes, implemented on heterogeneous channel switching technologies.

Ключевые слова: оптические транспортные сети специального назначения, топология физического уровня сети, интегрированная сеть связи инфокоммуникационные технологии, комплексные аппаратные связи.

Key words: optical transport networks special purpose, topology of the physical layer of the network, integrated communication network info-communication technologies, complex hardware communications.

Введение.

Создание интегрированной сети связи (ИСС) для нужд обороны страны, безопасности государства и обеспечения порядка способствовало тому, что оптические транспортные сети специального назначения (ОТС СН) стали играть важнейшую роль при формировании стационарного сег-

мента системы связи специального назначения. Одной из подсистем ОТС СН, напрямую влияющей на эффективность использования имеющегося ресурса каналов, трактов, а также механизмов оперативного переключения на сети, является система управления (СУ) [1].

Постановка задачи.

Одной из основных задач СУ ОТС СН является построение топологии сети и постоянное поддержание актуальной информации о ней в условиях изменяющихся ситуаций: возникновении повреждений на линиях связи, в каналах и трактах, а также появлении на сети новых линий.

Решение.

Анализ базовых методов и способов обнаружения топологии сетей связи показал, что существующие механизмы построения графовой модели структуры физического уровня сети основаны на обнаружении соединений между устройствами на канальном уровне. Однако, ввиду ранее указанных причин, определение соединения на канальном уровне не всегда возможно. Таким образом, можно сказать, что для оптических транспортных сетей на основе технологий с коммутацией каналов в настоящее время отсутствуют методы автоматического построения конфигурации сети [2].

Сформулируем задачу формирования конфигурации физического уровня ОТС СН. Представим ОТС СН в виде графа $G = \langle V, E \rangle$, в котором V – является множеством средств каналообразования, E – множество ВОЛС. Граф G также можно представить в виде группированного графа $G = \langle O \cup I, E \rangle$, в котором каждая вершина $o \in O$ является центром подграфа-звезды, представляющего собой группу с подмножеством вершин $i \in I$. При этом для любой пары вершин $o_j, o_k \in O$ ребро $(o_j, o_k) \notin E$. Таким образом вершины $o \in O$ могут иметь физический смысл внутренних коммутирующих устройств средств каналообразования, осуществляющих соединение внутренних интерфейсов оптических портов, а вершины $i \in I$ могут представлять собой оптические порты средств каналообразования. Подмножество оптических портов $i^j = \langle i_1^j, \dots, i_N^j \rangle$, соединённых с вершиной o_j , представляет собой j -е средство каналообразования с общим количеством оптических портов N (рис. 1). Пусть M – множество идентификаторов оптических портов. Тогда каждому оптическому порту $i \in I$ соответствует множество идентификаторов M_i , элементами которого являются параметры оптических передатчиков и приёмников (уровень мощности передаваемого или принимаемого сигнала, длина волны оптического излучения и т.д.), на основе которых необходимо осуществлять определение смежности оптических портов.

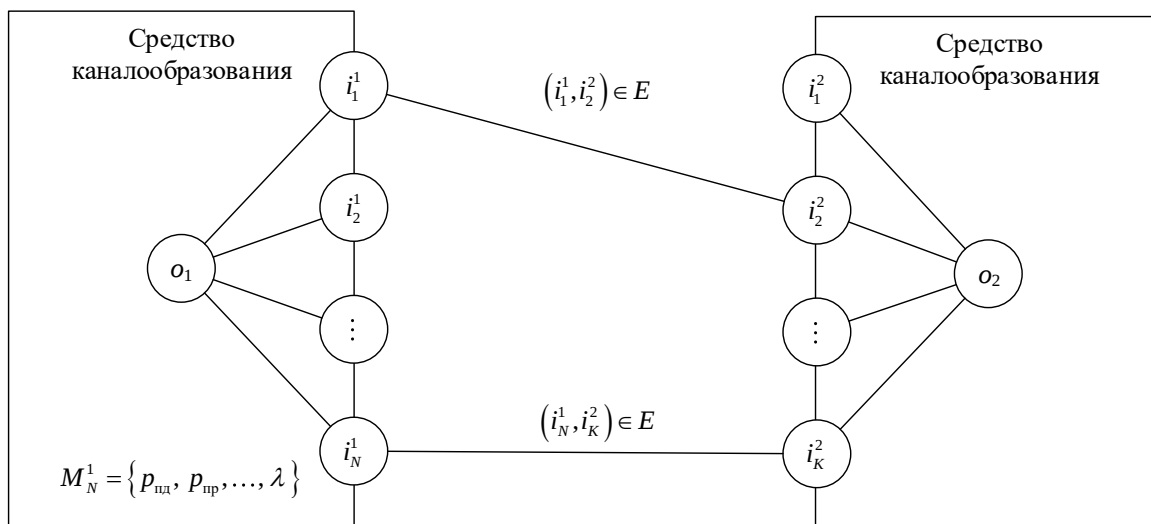


Рис. 1. - Конфигурация физического уровня ОТС СН

Недостатком конфигурации является возможность его применения только на этапе ввода в эксплуатацию оптической сети или отдельных волоконно-оптических линий связи. Обнаружение конфигурации сети без закрытия связи (без отключения) на работающей сети невозможно.

Заключение.

Отсутствие методов автоматического обнаружения конфигурации сети приводит к тому, что операторам ОТС СН и её фрагментов, приходится вручную задавать связи между средствами каналообразования. Кроме того, масштаб современных сетей и сложная архитектура также увеличивают трудоёмкость ручной трассировки каналов.

Библиографический список

1. Бойко А.П., П.И. Кузин. К проблеме автоматического обнаружения топологии физического уровня оптической транспортной сети специального назначения. Вопросы оборонной техники. Серия 16: Технические средства противодействия терроризму. – 2023. – № 5-6. (179-180) С. 65-70.
2. Lipatnikov V., Kuzin P., Rabin A. Methodology for determining the connectivity of communication networks. В сборнике: AIP Conference Proceedings. Krasnoyarsk Scientific Centre of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences. Melville, New York, United States of America, 2021. С. 70059.

П.И. Кузин, кандидат технических наук, доцент
кафедра информационных систем и технологий
СПбГЛТУ имени С.М. Кирова
kuzik78@mail.ru

Е.И. Кузина, преподаватель
кафедра общепрофессиональных дисциплин
Военная академия связи имени С.М. Буденного
vas.2kaf@mil.ru

М.И. Карномазов, курсант
Военная академия связи имени С.М. Буденного

РЕАЛИЗАЦИЯ РОБОТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ В ДИНАМИКЕ КОНТРОЛЯ БЕЗОПАСНОСТИ СВЯЗИ

REALIZATION OF ROBOTIC SYSTEMS IN THE DYNAMICS OF COMMUNICATION SECURITY CONTROL

***Аннотация:** в статье рассмотрен подход к построению пространственно-распределенной системы местоопределения источников радиоизлучений с применением роботизированных систем в интересах контроля безопасности связи и целеуказания.*

***Abstract:** in the paper considers the approach to the construction of a spatially distributed system of radio emission sources location with the use of robotic systems in the interests of communication security control and target designation.*

***Ключевые слова:** пеленгование, пространственно-распределенная система местоопределения, мобильные роботизированные системы.*

***Key words:** direction finding, spatially distributed positioning system, mobile robotic systems.*

Введение.

Анализ особенностей локальных конфликтов XXI века показывает все более возрастающую роль применения мобильных роботизированных систем (МРТС) специального назначения, разработка которых является важным перспективным направлением, способным принципиально изменить систему общего и специального назначений.

Постановка задачи.

Отечественная робототехника имеет неплохой задел в создании роботизированных систем, хотя и существует некоторое отставание в системах связи и управления, а работы предприятий робототехники направлены в основном на разработку и создание тяжелых боевых ударных и инженерных роботов [1]. В связи с этим в настоящее время является актуальной

научная задача по разработке концептуального подхода к построению пространственно-распределенной системы местоопределения объектов связи (радиостанций и сотовых телефонов).

Решение.

Определено, что в настоящий момент актуальна научная задача по разработке сверхлегкой переносной МРТС, предназначенной для радио-контроля (РК) местности в зоне обеспечения добывания информации об объектах, путем обнаружения объектов связи.

Для оценки возможности МРТС по дальности пеленгования необходимо оценить электромагнитную доступность объектов связи. Расчет энергетики сигнала на входе приемника будет зависеть от мощности излучения объектов связи [2]. Рассчитаем ЭМД мобильного телефона стандарта GSM (850-950 МГц).

При расчете требуемой энергетики сигнала необходимо учитывать все возможные потери. Величина отношения с/п h^2 связана со значениями мощности сигнала и помехи следующим образом:

$$h^2 = \frac{P_C T_C}{v_{\Pi}^2}, \quad (1)$$

где v_{Π}^2 – спектральная плотность помех, $P_C T_C$ – энергия сигнала за длительность T .

Вместе с тем h^2 можно записать в виде: $h^2 = \left(\frac{P_C}{P_{\Pi}} \right) \Delta f T_C$, так как $P_{\Pi} = \Delta f v_{\Pi}^2$. Поэтому при приеме двоичных сигналов в относительно узкой полосе, то есть в системе с базой $\Delta f T_C = 1$, отношение с/п равно $h^2 = \frac{P_C}{P_{\Pi}}$, или в децибелах относительно $h^2 = 1 \text{ мВт}$, запишется в виде:

$$z = 10 \lg h^2 = 10 \lg \left(\frac{P_C}{P_{\Pi}} \right) = y - x, \quad (2)$$

где y – уровень полезного сигнала; x – уровень непреднамеренных помех в полосе приема. Для систем с $\Delta f T_C \neq 1$, необходимо брать уровень сигнала равный $y + 10 \lg \Delta f T_C$. Потери радиосигнала на трассе рассчитываются:

$$L = 10 \lg \left(\frac{4\pi d}{\lambda} \right)^2 \quad (3)$$

где L – потери на распространение в свободном пространстве, дБм; d – расстояние между приемником и передатчиком, м; λ – длина волны, м.

Выражение (1) с учетом (4) можно записать в виде:

$$h^2 = \frac{P_C T_C}{v_{\Pi}^2} = \frac{P_C \Delta f T_C}{L P_{\Pi}} = \frac{P_C \Delta f}{R L P_{\Pi}}, \quad (4)$$

где R – техническая скорость передачи.

Тогда выражение (2) с учетом (4) можно записать в виде:

$$z_{\text{ПРМ}} = 10 \lg h^2 = 10 \lg P_c + 10 \lg \frac{\Delta f}{R} - 10 \lg \left(\frac{4\pi d}{\lambda} \right)^2.$$

(5)

При расчетах уровня группового сигнала на входе приемника учитываются затухания, связанные с погодными условиями и потерями в антенно-фидерном устройстве (АФУ). Исходя из зависимости (5) можно построить график зависимости уровня сигнала на входе приемника от расстояния между источником радиоизлучения и МРТК.

Заключение.

Таким образом, построение пространственно-распределенной системы местоопределения объектов связи ИРИ с совместным использованием МРТС, даёт возможность осуществить радиоконтроль и целеуказание объектов связи. С учетом условий, влияющих на распространение радиоволн и затухание в диапазоне 850-950 МГц можно сделать вывод об энергетической доступности объектов связи, возможности их обнаружения и пеленгации для разрабатываемого МРТС.

Библиографический список

1. Антонюк, Л. Я., Семисошенко М. А. Адаптивная радиосвязь в системах связи специального назначения // Электросвязь. 2007. № 5. С. 17-20.
2. Lipatnikov V., Kuzin P., Rabin A. Methodology for determining the connectivity of communication networks. В сборнике: AIP Conference Proceedings. Krasnoyarsk Scientific Centre of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences. Melville, New York, United States of America, 2021. С. 70059.

М.М. Кумарина, магистрант
кафедры информационных систем и технологий
СПбГЛТУ им. С. М. Кирова
cumarina2017@yandex.ru

П.А. Кашо, младший научный сотрудник
ВА МТО им. генерала армии А.В. Хрулева
lighthousekxl43@gmail.com

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ И СРЕДСТВ ВИЗУАЛИЗАЦИИ ДАННЫХ

COMPARATIVE ANALYSIS OF DATA VISUALIZATION

METHODS AND TOOLS

Аннотация. В статье рассмотрен актуальный вопрос, связанный с выбором методов и средств визуализации данных при проведении их анализа с целью принятия обоснованных решений в различных областях и сферах человеческой деятельности. Представлены основные методы визуализации, которые классифицированы как классические, интерактивные и специализированные. Проведен сравнительный анализ известных и широко применяемых на практике инструментальных программных средств визуализации данных по выбранным критериям, отмечены особенности их применения, преимущества и недостатки. Обосновано, что для решения конкретных задач анализа и представления данных необходимо учитывать особенности каждого метода и инструмента визуализации, а также возможности их комбинаций, что требует проведение дополнительных исследований в этой области.

Abstract. The article considers the topical issue related to the choice of methods and means of data visualization when analyzing them in order to make informed decisions in various areas and spheres of human activity. The main methods of visualization are presented, which are classified as classical, interactive and specialized. A comparative analysis of known and widely used in practice instrumental software tools for data visualization according to the selected criteria is carried out, the features of their application, advantages and disadvantages are noted. It is substantiated that in order to solve specific problems of data analysis and presentation, it is necessary to take into account the features of each method and tool of visualization, as well as the possibilities of their combinations, which requires additional research in this area.

Ключевые слова: анализ данных, большие данные, визуализация, дашборд, инструментальное средство визуализации, метод визуализации, программные средства с открытым кодом.

Keywords: data analysis, big data, visualization, dashboard, visualization tool, visualization method, open source software.

Введение

Сегодня мы живем в эпоху данных: по сделанным ранее прогнозам Huawei GIV к 2025 году объем глобальных данных достигает 180 зеттабайт, и значительная часть этой информации останется неструктурированной или сложной для восприятия без специальных инструментов (рисунок 1). Визуализация данных превращает этот хаос в порядок, предоставляя визуальные ключи для понимания сложных структур и зависимостей.

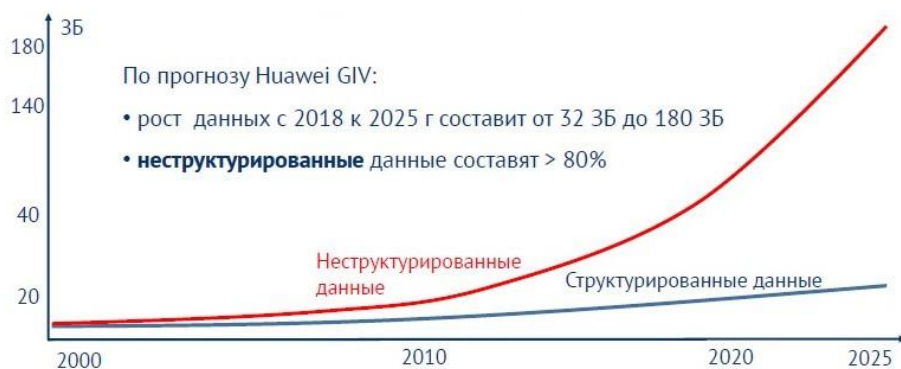


Рис. 1. – Увеличение объемов данных в мире

Под визуализацией данных в настоящее время понимается наглядное и понятное представление результатов обработки информации по заданным алгоритмам в виде определенных графических форм – различного вида диаграмм, графиков, гистограмм, дашбордов, которые могут быть выполнены как в 2D, так и в 3D изображениях.

Визуализация данных сегодня применяется практически во всех сферах человеческой деятельности и позволяет:

- упростить понимание и интерпретацию данных;
- упорядочить большие объёмы данных, структурировать информацию;
- повысить оперативность и качество анализа данных, при этом выявить закономерности, тренды и аномалии в их изменении и использовать это для прогнозирования;
- улучшить качество коммуникации между разными группами сотрудников, например, между руководителями и техническими специалистами.

Исторически визуализация данных началась с простых карт и графиков, таких как знаменитая карта Джона Сноу 1854 года, показавшая связь между расположением колодцев и вспышками холеры в Лондоне (рисунок 2) [1].

Сегодня же аналитики данных имеют дело с многомерными массивами, временными рядами и потоками реального времени, требующими новых подходов. Как отмечает Эдвард Тафти, гуру визуализации данных, «графическое представление данных должно быть не просто красивым, но и функциональным» [2].

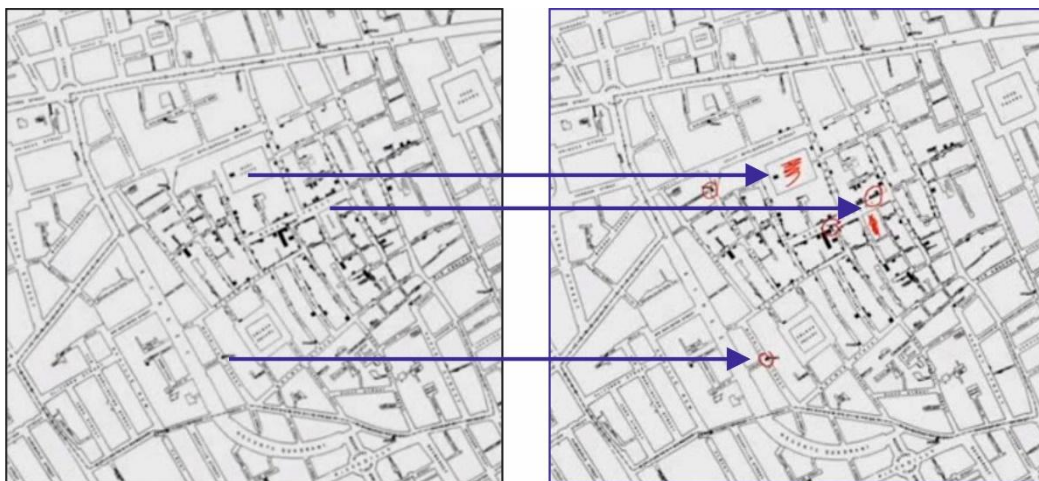


Рис. 2. – Разметка карты доктора Джона Сноу

Таким образом, вопрос в том, как выбрать подходящий метод или инструмент, чтобы извлечь из данных максимум пользы, был всегда актуальным. В современном мире объемы генерируемых данных стремительно растут, что делает задачу их эффективного анализа и интерпретации все более актуальной. Эффективная визуализация данных является ключевым фактором для принятия обоснованных решений в различных областях, таких как наука, бизнес, финансы, здравоохранение и многие другие. Правильно выбранный метод визуализации может значительно упростить процесс анализа и интерпретации данных, в то время как неудачный выбор может привести к неправильным выводам и ошибкам.

Целью статьи является определение наиболее эффективных методов и инструментов для решения конкретных задач анализа и представления данных.

Методы визуализации данных можно классифицировать по различным критериям, таким как тип данных, цель визуализации и уровень интерактивности. К наиболее распространенным и востребованным методам визуализации данных в настоящее время относятся:

- классические методы;
- интерактивные методы;
- специализированные методы.

Рассмотрим особенности применения, преимущества и недостатки основных методов визуализации, составляющих указанные группы.

1. Классические методы визуализации:

К классическим методам визуализации относят: гистограммы и столбчатые диаграммы, круговые диаграммы, графики рассеяния, линейные графики, диаграммы рассеяния с плотностью. Коротко охарактеризуем каждый из методов с указанием их достоинств и недостатков.

– гистограммы и столбчатые диаграммы: представляют распределение данных по категориям или интервалам, гистограммы используются для непрерывных данных, а столбчатые диаграммы – для дискретных.

Преимущества: простота понимания, наглядное представление распределения данных.

Недостатки: ограниченная применимость для многомерных данных, потенциальная потеря информации при группировке данных в интервалы.

– круговые диаграммы: показывают доли различных категорий в общей сумме.

Преимущества: простота понимания, наглядное представление пропорций.

Недостатки: сложность сравнения долей, большое количество категорий делает диаграмму нечитаемой.

– графики рассеяния (Scatter plots): отображают взаимосвязь между двумя переменными [3].

Преимущества: выявление корреляций, обнаружение кластеров и выбросов.

Недостатки: ограниченная применимость для многомерных данных, сложность интерпретации при большом количестве точек.

– линейные графики: отображают изменение значения переменной во времени или в зависимости от другой переменной.

Преимущества: наглядное представление трендов и изменений, возможность сравнения нескольких переменных.

Недостатки: чувствительность к масштабу, сложность интерпретации при большом количестве линий.

– диаграммы рассеяния с плотностью (Density Scatter Plots): визуализируют концентрацию точек данных, отображая области высокой плотности [3].

Преимущества: Позволяют выявлять области концентрации данных и общую структуру данных.

Недостатки: Могут быть сложными для интерпретации при большом количестве данных.

2. Современные интерактивные методы визуализации

К современным интерактивным методам визуализации могут быть отнесены: тепловые карты, древовидные карты, параллельные координаты, сети, интерактивные дашборды. Ниже рассмотрены их достоинства и недостатки. На рисунке 3 приведены примеры указанных методов.

– тепловые карты (Heatmaps): отображают матрицу данных, где значения параметров (данных) дополнительно представляются цветом [4].

Преимущества: Наглядное представление больших объемов данных, выявление закономерностей и кластеров.

Недостатки: Сложность интерпретации для неподготовленного пользователя, ограниченная применимость для нечисловых данных.

– древовидные карты (Treemaps): представляют иерархические данные в виде вложенных прямоугольников, где размер каждого прямоугольника пропорционален значению соответствующего элемента [4].

Преимущества: Наглядное представление иерархических структур, эффективное использование пространства.

Недостатки: Сложность сравнения значений между различными уровнями иерархии, ограниченная применимость для сложных иерархий.

– параллельные координаты (Parallel Coordinates): отображают многомерные данные в виде линий, проходящих через параллельные оси, каждая из которых представляет одну переменную [5].

Преимущества: визуализация многомерных данных, выявление взаимосвязей и кластеров.

Недостатки: сложность интерпретации при большом количестве переменных и данных, чувствительность к порядку осей.

– сети (Networks): отображают связи между объектами в виде графа, где узлы представляют объекты, а ребра - связи между ними.

Преимущества: визуализация взаимосвязей и зависимостей, выявление центральных элементов и кластеров.

Недостатки: сложность интерпретации для сложных сетей, необходимость определения метрик для отображения связей.

– интерактивные дашборды: комбинируют применение нескольких методов визуализации на одном экране, позволяя пользователю интерактивно анализировать данные и выявлять в них закономерности в зависимости от специфики предметной области и целей исследования [6].

Преимущества: комплексный анализ данных, гибкость и интерактивность, возможность настройки под конкретные задачи.

Недостатки: требуют значительных усилий для разработки и настройки, могут быть перегружены информацией.

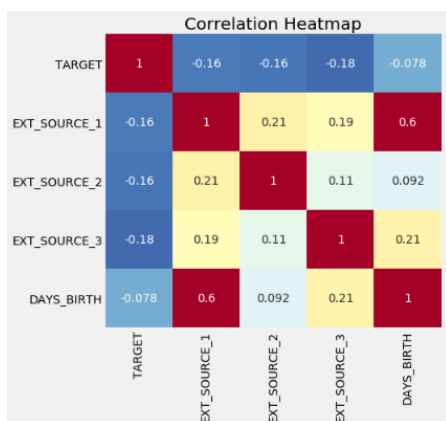
3. Специализированные методы визуализации:

– геоинформационные системы (ГИС): визуализируют данные, связывая их с географическим положением.

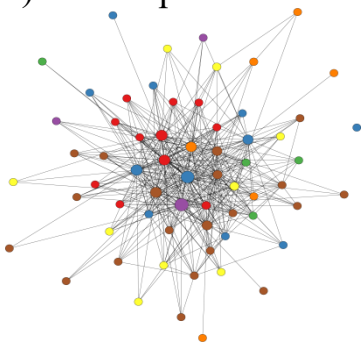
– визуализация временных рядов: отображают данные, изменяющиеся во времени, с использованием специализированных методов, таких как свечные графики и графики потоков [7].

– визуализация данных предметной области: учитывают специфику визуализируемых данных, например, в медицине результаты томографии или рентгеновских исследований и т.д.

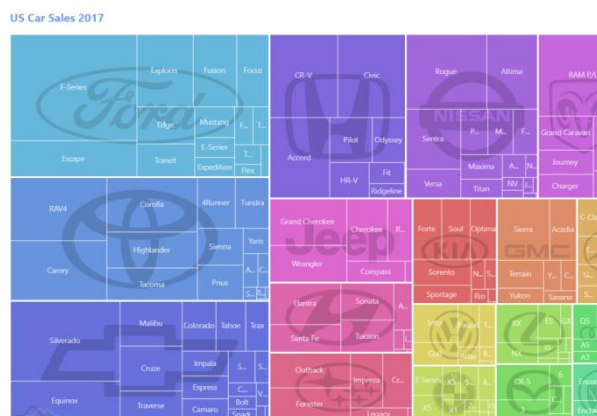
Таким образом, спектр известных методов визуализации данных в настоящее время достаточно широк, и методы продолжают развиваться вместе с развитием современных информационных технологий. Очевидно, что выбор и применение того или иного метода визуализации в полной мере зависит от целей и задач анализа, специфики данных, ограничений на ресурсы разработки средств визуализации. Наиболее перспективным направлением развития методов визуализации сегодня является их интегрированное применение, что используется при создании интерактивных дашбордов, но в свою очередь это связано со значительными финансовыми затратами и не всегда приемлемо.



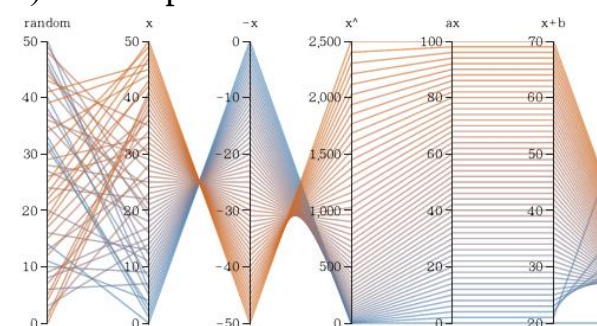
а) Heatmaps



в) Networks



б) Treemaps



г) Parallel Coordinates



д) интерактивный дашборд

Рис. 3. – Примеры современных интерактивных методов визуализации

4. Программные средства визуализации данных

На основе рассмотренных методов визуализации в настоящее время разработаны и эффективно применяются различные программные средства визуализации данных, выполненные как в виде многофункциональных программных инструментальных сред, так и в виде отдельных фреймворков (библиотек).

Сегодня известно и широко применяется на практике достаточно большое количество программных инструментальных средств визуализации данных, как платных коммерческих, так и с открытым исходным кодом. При этом выбор для использования конкретного инструмента, по ана-

логии с рассмотренными в работе [8] критериями, в первую очередь целесообразно определять требованиями к функциональности, масштабируемости, удобству использования и стоимости. Рассмотрим основные из этих инструментальных средств [9–12].

К коммерческим программным инструментальным средам относятся, например:

- *Tableau* – мощный инструмент для интерактивной визуализации данных с широким спектром возможностей;
- *Qlik Sense* – платформа для анализа данных с возможностью создания интерактивных дашбордов и отчетов;
- *Microsoft Power BI* – инструмент бизнес-аналитики, интегрированный с другими продуктами Microsoft;
- *SAS Visual Analytics* – платформа для визуализации и анализа данных с использованием статистических методов.

Несмотря на развитые средства визуализации и интегрирование различных методов визуализации в составе указанных инструментариев многие из них в современных условиях фактически не доступны для применения в Российской Федерации, как, например, продукты *SAS Visual Analytics* [13].

В связи с этим повышается востребованность отечественных программных сред (платформ) визуализации данных, например, *Polyanalyst* [14], *Loginom* [15], и программных сред с открытым кодом, таких как универсальный язык программирования *Python*. Результаты проведенного сравнительного экспресс анализа по ряду критериев свидетельствует о следующем.

По уровню входа в технологию *Polyanalyst* предлагает минимальный порог входа – интерфейс понятен даже стажёру после 30-минутного инструктажа. *Loginom* требует более глубокого понимания основных принципов работы с данными, но также не предполагает написания кода. *Python* – это профессиональный инструмент, требующий всестороннего системного изучения.

По гибкости решений *Polyanalyst* ограничивается функционалом, заложенным разработчиками. *Loginom* позволяет создавать сложные аналитические цепочки через визуальное программирование. *Python* даёт полную свободу – ограничением служит только квалификация.

По интеграционным возможностям *Polyanalyst* идеально встраивается в корпоративную экосистему крупных компаний. *Loginom* наиболее адаптирован к работе с российскими бизнес-системами. *Python* интегрируется со всем – от IoT-устройств до кластерных систем.

По финансовым (практическим) аспектам использования *Polyanalyst* требует значительных лицензионных отчислений. *Loginom* предлагает более гибкую модель лицензирования. *Python* бесплатен, но требует инвестиций в обучение программированию.

Таким образом, можно заключить, что для оперативной отчётности в крупных корпорациях – *Polyanalyst*, для сложных аналитических задач в

русской ИТ-среде – Logiном, для научных исследований и кастомных решений – Python.

Рассмотрим более детально известные **программные средства с открытым кодом**:

Библиотеки Python (Matplotlib, Seaborn, Plotly) – для создания различных типов визуализаций.

R (ggplot2) – пакет для создания понятных и информативных графиков.

D3.js – JavaScript-библиотека для создания интерактивных и настраиваемых визуализаций.

Grafana – платформа для мониторинга и визуализации данных из различных источников.

В рамках проведенного анализа были определены основные критерии для сравнения функциональных возможностей рассмотренных инструментальных средств визуализации данных. В таблице 1 приведены результаты анализа рассмотренных выше программных сред и фреймворков.

Таблица 1

Сравнение программных средств визуализации данных

Инструментальное средство	Преимущества	Недостатки	Область применения
Tableau	Простота использования, широкие возможности визуализации, интерактивность	Высокая стоимость, ограниченная возможность настройки	Бизнес-анализ, создание дашбордов
Qlik Sense	Ассоциативный механизм анализа данных, масштабируемость	Высокая стоимость, сложность освоения	Бизнес-анализ, анализ больших данных
Power BI	Интеграция с продуктами Microsoft, доступная цена	Ограниченная функциональность по сравнению с Tableau и Qlik Sense	Бизнес-анализ, отчетность
Python (библиотеки)	Гибкость, высокая настраиваемость, широкий выбор библиотек, открытый исходный код	Требуются навыки программирования, более сложный процесс создания визуализаций	Научные исследования, анализ данных, создание сложных и специфических визуализаций
R (ggplot2)	Специализация для статистического анализа, понятные графики, открытый исходный код	Требуются навыки программирования, ограниченная интерактивность	Статистический анализ, визуализация результатов исследований
D3.js	Максимальная	Требуются глубокие	Создание

	гибкость и настраиваемость, создание уникальных визуализаций	знания JavaScript, сложный процесс разработки	интерактивных веб-визуализаций
Grafana	Специализация для мониторинга данных, поддержка различных источников данных	Ограниченная функциональность для анализа данных	Мониторинг инфраструктуры, анализ логов

Необходимо также отметить, что отдельную проблемную область в настоящее время составляет визуализация больших данных, что является наиболее сложной задачей из-за огромного объема анализируемой информации и необходимости её эффективной обработки и последующего представления.

Для решения этой задачи используются специализированные методы и инструменты, такие как:

Агрегация и фильтрация данных – уменьшение объема данных путем агрегирования и фильтрации позволяет упростить визуализацию и ускорить процесс анализа.

Использование специализированных библиотек – библиотеки, такие как Dataslayer и HoloViews (Python), разработаны специально для визуализации больших данных и позволяют создавать интерактивные визуализации с высокой производительностью.

Распределенные вычисления – использование распределенных вычислительных платформ, таких как Apache Spark, позволяет обрабатывать и визуализировать большие данные параллельно.

Таким образом, визуализация данных сегодня является мощным инструментом для анализа и интерпретации информации, так как позволяет выявлять закономерности, тренды и аномалии, которые могут быть незаметны при рассмотрении сырых (неструктурированных) данных. В данной статье был представлен сравнительный анализ различных методов и средств визуализации данных, включая их преимущества, недостатки и области применения.

Эффективная визуализация данных является ключевым фактором для принятия обоснованных управленческих решений в различных сферах человеческой деятельности. Выбор конкретного метода и инструмента визуализации зависит от типа данных, цели визуализации и требований к интерактивности и масштабируемости. Для решения конкретных задач анализа и представления данных необходимо учитывать особенности каждого метода и инструмента, а также возможности их комбинаций, что требует проведение дополнительных исследований в этой области.

Библиографический список

1. Джонсон Стивен. Карта призраков – М.: Бомбора, 2020. – 320 с.
2. Эдвард Тафти. Представление информации – Graphics Press, 1990. – 127 с.
3. Описательная статистика // [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.math.net/scatter-plot> (дата обращения: 05.02.2025).
4. Тепловая карта // [Электронный ресурс]. – URL: <https://think.design/services/data-visualization-data-design/heatmap/> (дата обращения: 06.02.2025).
5. Parallel Coordinate Plots // [Электронный ресурс]. – URL: <https://absentdata.com/parallel-coordinate-plots/> (дата обращения: 06.02.2025).
6. Дашборд: что это и как использовать в работе // [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.decosystems.ru/chto-takoe-dashbord/> (дата обращения: 07.02.2025).
7. Свечной анализ. Базовые формы свечей. // [Электронный ресурс]. – URL: <https://japancandles.ru/> (дата обращения: 07.02.2025).
8. Филяев М.П., Чернышев С.А., Николаев П.А. Сравнительный анализ инструментальных программных средств для разработки имитационных моделей логистических процессов // Научные проблемы материально-технического обеспечения Вооруженных Сил Российской Федерации. 2020. № 2 (16). С. 92-104.
9. Булыгина А.А. Сравнительный анализ инструментов визуализации данных в соответствии с потребностями ИТ-рынка // Молодой ученый, 2023. №22(469). – С. 6-8.
10. Александр Гинько. Анализ и визуализация данных в Yandex DataLens. Подробное руководство: от новичка до эксперта. — М.: ДМК Пресс, 2023. – 356 с.
11. Визуализация данных: способы, принципы, инструменты // [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.adventum.ru/articles/upravlenie-dannymi/vizualizaciya-dannyh/> (дата обращения: 08.02.2025).
12. Аналитика – это красиво: 8 сервисов для визуализации данных // [Электронный ресурс]. – URL: <https://practicum.yandex.ru/blog/obzor-servisov-dlya-vizualizacii-dannyh/> (дата обращения: 08.02.2025).
13. Решения для обработки данных и искусственного интеллекта // [Электронный ресурс]. – URL: https://www.sas.com/en_us/software/visual-analytics.html (дата обращения: 08.02.2025).
14. Российская аналитическая платформа визуальной разработки сценариев анализа данных // [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.megaputer.ru/> (дата обращения: 10.02.2025).
15. LOW-CODE платформа для реализации аналитических процессов // [Электронный ресурс]. – URL: <https://loginom.ru/> (дата обращения: 10.02.2025).

А.А. Логачев, старший преподаватель
Кафедра информационных систем и технологий
СПБГЛТУ им. С. М. Кирова
logachevaa@live.ru

ПОЛУЧЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКИХ ДАННЫХ ОБ ОБУЧАЮЩИХСЯ СПБГЛТУ ИЗ ПЛАТФОРМЫ 1С

GAINING INFORMATION AND ANALYTICAL DATA ON SPBFTU STUDENTS FROM 1C PLATFORM

***Аннотация:** переход СПБГЛТУ на 1С: Университет привнес множество новых инструментов и возможностей, связанных с унификацией и объединением информационных систем организации, планированием и управлением учебным процессом, внедрением электронного документооборота, а также с интеграцией с множеством существующих федеральных информационных систем. Платформа 1С является комплексным и многофункциональным решением по автоматизации множества процессов деятельности организации, и полный переход Университета на нее потенциально увеличит эффективность управления, улучшит качество данных, и снизит количество ошибок в них. Однако в процессе перехода с одной информационной платформы на другую зачастую возникают ситуации, когда и старая система уже не полностью функционирует, и новая система еще не окончательно внедрена. В такой переходный период может потребоваться оперативный и гибкий доступ к хранящейся в 1С информации для сверки данных, а также для решения текущих задач. В данной статье рассматривается механизм такого получения требуемой информации об обучающихся из 1С.*

***Annotation:** Integration of 1C:University in SPBFTU brings new tools and opportunities related to unification and aggregation of information systems of the organization, planning and management of the educational process, implementation of electronic document management, as well as merging with many existing federal information systems. The 1C platform is a comprehensive and multifunctional solution to automate many processes of the organization, and a complete integration of the University potentially may to increase the efficiency of management, improve the quality of data, and reduce the number of errors in them. However, in the process of migrating from one information platform to another, situations often arise where the old system is no longer fully functional and the new system is not yet fully implemented. In such a transitional period, might be necessary rapid and flexible access to the information stored in 1C for data reconciliation, as*

well as for solving current tasks. This article discusses the mechanism of such obtaining the required information about students from 1C.

Ключевые слова: базы данных, информационная система университета, 1C, программирование.

Keywords: database, university information system, 1C, programming.

В настоящий момент в СПбГЛТУ проходит фаза активного внедрения 1С:Университет, и переход с предыдущей информационной системы. В связи со сложностью и комплексностью платформы 1С, осуществляется поэтапный переход, когда внедряются не все включенные в продукт модули сразу, а происходит постепенная установка и настройка модулей от наиболее общих к более прикладным решениям. В процессе такого перехода большая часть сил как сотрудников информационно-технических служб Университета, так и обеспечивающего процесс внедрения вендора, направлены на установку и настройку приоритетных модулей системы, а также решение связанных с этим задач. В результате они не всегда могут оперативно помочь в решении текущих задач, связанных с учебным процессом, когда необходимо получить актуальные данные о контингенте обучающихся. В предыдущей информационной системе подобные задачи зачастую решались с использованием собственных разработок, подключаемых к базе и формирующих сводную информацию в требуемом виде [1,2,3].

В зависимости от прав доступа, имеющихся возможностей разработки и рассматриваемых задач, можно выделить несколько способов аналогичного получения данных об обучающихся из базы 1С:Университет. Самым простым и доступным с точки зрения получения первоначальных данных является отчет “Контингент и движение”, расположенный во вкладке “Управление студенческим составом”, показанный на рисунке 1.

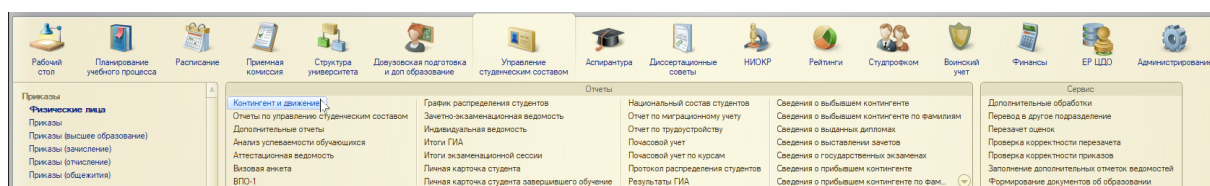


Рис. 1. - Отчет “Контингент и движение”

В данном отчете присутствует гибкий механизм настроек, позволяющий пользователю выбрать, какие нужно отобразить поля, как их отфильтровать, отсортировать и сгруппировать, в результате чего получить множество информации по обучающимся, по их истории обучения и успеваемости. Пример получения основных данных по обучающимся показан на рисунке 2.

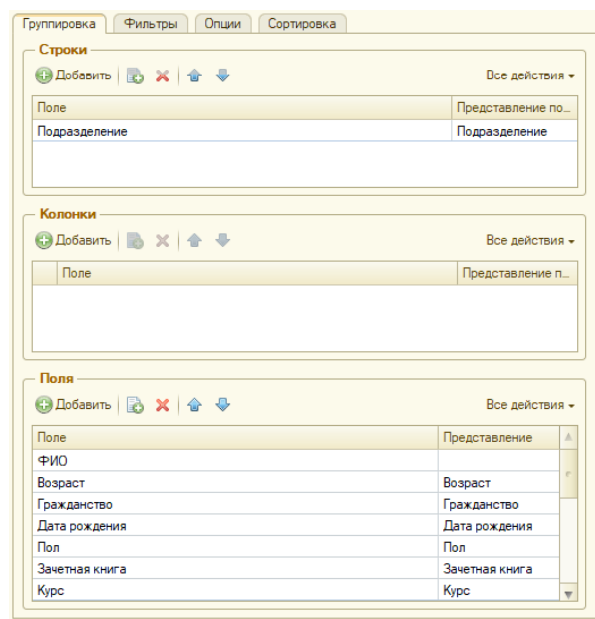


Рис. 2. - Настройки отчета “Контингент и движение”

Данный способ достаточно прост в освоении, не требует каких-либо особых пользовательских ролей, позволяет настроить вывод получаемых данных и экспортировать их в табличный редактор, например в MS Office Excel или Openoffice Calc, для дальнейшей обработки и анализа информации. Доступные пользователю для выбора категории данных показаны на рисунке 3.

Элемент	Элемент
⊕ Адрес по прописке	⊕ Медицинские полисы
⊕ Адрес проживания	⊕ Паспортные данные
⊕ Актуальные паспортные данные	⊕ Поступление
⊕ Аспирантура	⊕ Практика
⊕ Второе высшее	⊕ Приказы
⊕ Год поступления, выпуска	⊕ Согласия на обработку персональных данных
⊕ Движение	⊕ Состав семьи
⊕ Дипломы	⊕ Стипендии
⊕ Договоры	⊕ Студенческие билеты
⊕ Документы иностранных граждан	⊕ Темы работ
⊕ Документы об образовании обучающихся	⊕ Успеваемость
⊕ Личные данные	⊕ Учебный статус
⊕ Льготы/особые отметки обучающихся	

Рис. 3. - Выбор данных в отчете “Контингент и движение”

Следующим способом получения данных из 1С является использование консоли запросов. Данный способ сложнее предыдущего, поскольку требует от пользователя, как умения работы с запросами, напоминающими язык SQL, так и наличия прав доступа для запуска внешних обработок, одной из которых и является консоль запросов. Преимуществом данного способа является расширение возможностей по выборке и компоновке данных, поскольку подобные возможности консоли запросов существенно превосходят отчет “Контингент и движение”, который дает хоть и обширный, но заранее определенный перечень доступных для работы полей и функций.

Для получения данных с использованием консоли запросов нужно сначала скачать соответствующий файл внешней обработки. Она свободно распространяется в интернете, и может быть скачана с множества сайтов, в том числе с профильных сайтов, посвященных 1С, например <https://its.1c.ru> или <https://infostart.ru>. После нужно открыть скачанный файл, для этого в меню 1С нужно выбрать пункт “Открыть файл” и указать путь к скачанной обработке. В открывшемся окне можно, используя язык 1С для работы с данными, писать запросы на выборку данных из заданных источников по установленным условиям.

Там же по нажатию правой кнопки мыши доступен конструктор запросов, позволяющий сформировать текстовый запрос в автоматическом режиме. Для этого нужно будет выбрать объекты базы, из которых берутся данные: это могут быть справочники, документы и регистры сведений. Затем нужно выбрать, какие поля из представленных объектов нужно отобразить.

Например, если необходимо получить рейтинг и оценку студентов определенной группы по определенной дисциплине, нужно выделить документ “Ведомость”, из него выделить табличную часть “ДанныеПоАттестации”, а из нее вывести поля ФизическоеЛицо.Наименование, Итог_T1, Итог_T2 и Отметка, как показано на рисунке 4.

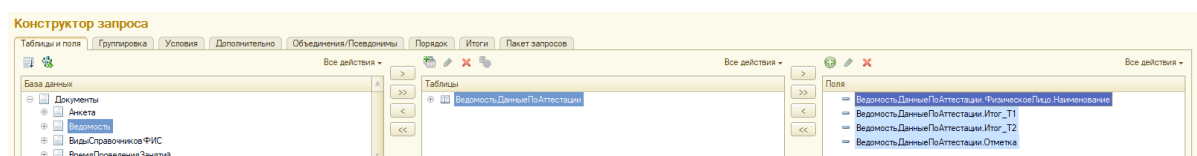


Рис. 4. - Создание запроса через конструктор

После во вкладке “Условия” нужно задать условия отбора данных, по какой группе берется информация, по какой дисциплине, по какому типу ведомостей: основная ведомость, пересдача или пересчет. Дополнительно во вкладке “Порядок” можно задать сортировку списка студентов по алфавиту, чтобы они не отображались в произвольном порядке. В результате если нажать кнопку “Ок”, то конструктор автоматически преобразует созданный запрос в текстовый вид, как показано на рисунке 5.

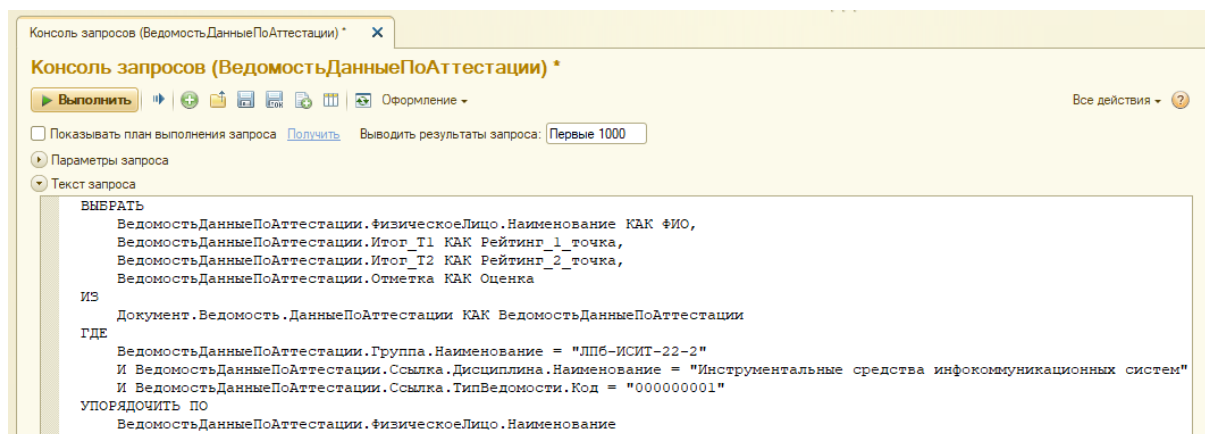


Рис. 5. - Текстовое представление созданного запроса

Если нажать кнопку “Выполнить” и запустить созданный запрос, то на экран будет выведена информация в соответствии с заданными параметрами отбора и условиями, как показано на рисунке 6.

Результат запроса (количество строк = 25, время выполнения = 0,034 с)

Запрос: Документ.Ведомость.ДанныеПоАттестации (Записей в результате: 25)

	ФИО	Рейтинг_1 точка	Рейтинг_2 точка	Оценка
И	Александра Г	94,5	95	Отлично
К	Илья О	7	36,5	Отлично
К	Юлия В	54,5	95	Отлично
К	Роман В	36,5	53	Хорошо
К	Валерий Д			Хорошо
К	Илья Е	37,5	68	Хорошо
К	Олег А	23	39	Хорошо
К	Дмитрий И	12,5	11,5	Неявка
К	Елизавета А	93,5	95	Отлично
К	Кирилл А	7,5	1,5	Удовлетворительно
К	Анатолий Е	42	52,5	Хорошо
К	Хусейн М	28	55	Хорошо
Л	Алексей А	29,5	45,5	Отлично
Л	Таисия Д	90,5	86,5	Отлично

Рис. 6. - Результат выполнения запроса

Подобный способ получения данных сложнее рассмотренного выше отчета “Контингент и движение”, однако он позволяет отображать любые хранящиеся в базе данные, а также дополнительно обрабатывать отображение и структуру выводимых данных. Язык, используемый для обращения и обработки данных в 1С, схож с языком SQL и позволяет использовать множество методов работы с данными: выборку из нескольких таблиц, использование inner, left, right и full join для установки связей между таблицами, использование группировок и групповых операций, таких как сумма, количество, среднее, минимум и максимум. В созданный таким образом запрос можно добавить регулируемые пользовательские параметры, чтобы в дальнейшем пользователь мог сам менять параметры запроса без прямого редактирования запроса в текстовом виде или в режиме конструктора.

Развитием данного способа является создание программных форм, которые на основе созданного запроса могут отображать данные в стан-

дартном рабочем интерфейсе 1С. Данный способ еще сложнее рассмотренного выше, поскольку для его реализации необходимы навыки не только создания запросов на SQL-подобном языке, но и навыки программирования в 1С. Но именно таким способом можно обеспечить максимальную гибкость и оперативность получения необходимых данных, а также возможность предоставления различным группам пользователей соответствующих инструментов.

Создание собственных программных форм в 1С возможно несколькими способами. Первый – напрямую в конфигурации 1С, однако при использовании не полностью с нуля написанных собственных конфигураций, а готовых типовых решений, как 1С:Университет, такое решение крайне не рекомендуется. Связано это с тем, что прямое вмешательство в конфигурацию готового типового решения в лучшем случае может привести к отказу системы автоматического обновления, а в худшем – к нарушению функционирования всей системы.

Второй способ создания собственных программных форм – использование механизма расширения конфигурации, позволяющий в существующее типовое решение отдельно добавлять свои программные наработки. Такой механизм никак не влияет на функционирование и обновление типовой конфигурации, и при этом позволяет создавать и добавлять напрямую в интерфейс 1С новые функции и возможности. Однако для создания собственных расширений конфигурации нужно иметь доступ к конфигуратору 1С, что подразумевает, во-первых, необходимость владения соответствующими административными правами доступа. Во-вторых, из-за активной стадии внедрения 1С, конфигуратор может быть постоянно занят как сотрудниками информационно-технических служб Университета, так и сотрудниками вендора, обеспечивающего интеграцию платформы.

Третьим способом работы с собственными программными формами является использование внешних обработок. Внешняя обработка открывается как внешний файл по аналогии с описанным выше механизмом открытия консоли запросов. Для создания внешней обработки также требуется конфигуратор, но здесь можно использовать любой конфигуратор 1С, даже учебный, а не конфигуратор живой базы данных. В конфигураторе создается файл внешней обработки с расширением “.erf”. Затем в созданном расширении определяются структуры (реквизит, табличная часть, форма, макет) и типы (текстовые, числовые, даты) выводимых на экран данных. Для рассмотренного выше примера с рейтингом и оценками студентов по выбранным группе и дисциплине, структура внешней обработки примет вид, показанный на рисунке 7.

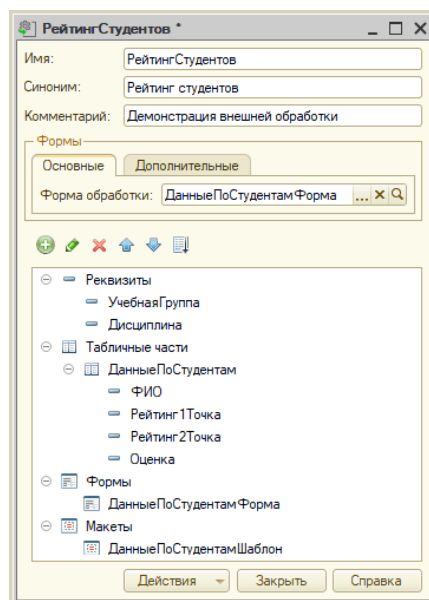


Рис. 7. - Создание внешней обработки

После определения структуры объектов внешней обработки и их типов данных, создается форма, на которой пользователь будет выбирать интересующую его группу и дисциплину и просматривать результат запроса. Создаваемая автоматически по заданной структуре форма примет вид, показанный на рисунке 8.

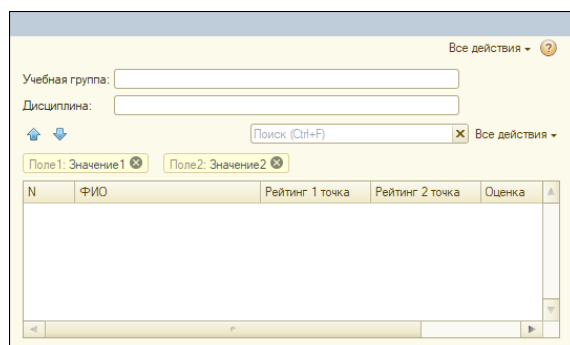


Рис. 8. - Создание формы

В код модуля формы добавляется процедура, запускающая описанный выше запрос на языке 1С, выводящий список студентов, их рейтинг и оценку по заданной группе и дисциплине. Только теперь названия группы и дисциплины указываются не напрямую в запросе, а задаются пользователем на самой форме, а запрос берет значения параметров с формы. С учетом синтаксиса языка программирования 1С, код для запуска запроса и вывода результатов на форму примет вид, показанный на рисунке 9.

```

&НаСервере
□ Процедура КомандаНаСервере ()
    Запрос = Новый Запрос;
    Запрос.Текст = "ВЫБРАТЬ
| ВведомостьДанныеПоАттестации.ФизическоеЛицо.Наименование КАК ФИО,
| ВведомостьДанныеПоАттестации.Итог_Т1 КАК Рейтинг_1_точка,
| ВведомостьДанныеПоАттестации.Итог_Т2 КАК Рейтинг_2_точка,
| ВведомостьДанныеПоАттестации.Отметка КАК Оценка
| ИЗ
| Документ.Введомость.ДанныеПоАттестации КАК ВведомостьДанныеПоАттестации
| ГДЕ
| ВведомостьДанныеПоАттестации.Группа.Наименование = &Группа
| И ВведомостьДанныеПоАттестации.Ссылка.Дисциплина.Наименование = &Дисциплина
| И ВведомостьДанныеПоАттестации.Ссылка.ТипВедомости.Код = &ТипВедомости
| УПОРЯДОЧИТЬ ПО
| ВведомостьДанныеПоАттестации.ФизическоеЛицо.Наименование";
    Запрос.УстановитьПараметр ("Группа", Объект.УчебнаяГруппа);
    Запрос.УстановитьПараметр ("Дисциплина", Объект.Дисциплина);
    Запрос.УстановитьПараметр ("ТипВедомости", "000000001");
    Результат = Запрос.Выполнить ();
    Выборка = Результат.Выбрать ();
    Пока Выборка.Следующий () Цикл
        НоваяСтрока = Объект.ДанныеПоСтудентам.Добавить ();
        НоваяСтрока.ФИО=Выборка.ФИО;
        НоваяСтрока.Рейтинг1Точка=Выборка.Рейтинг_1_точка;
        НоваяСтрока.Рейтинг2Точка=Выборка.Рейтинг_2_точка;
        НоваяСтрока.Оценка=Выборка.Оценка;
    КонецЦикла;
КонецПроцедуры
&НаКлиенте
□ Процедура Команда1 (Команда)
    Объект.ДанныеПоСтудентам.Очистить ();
    КомандаНаСервере ();
КонецПроцедуры

```

Рис. 9. - Программный код для запуска запроса и отображения данных на форме

В результате если открыть созданную обработку из 1С, в открывшемся окне указать группу и название дисциплины, то в табличной части экранной формы будут выведены результаты запроса, как показано на рисунке 10.

Рейтинг студентов					Все действия
Учебная группа: ППБ-ИСИТ-22-1					
Дисциплина: Инструментальные средства инфокоммуникационных систем					
Обновить данные					
Поиск (Ctrl+F)					Все действия
N	ФИО	Рейтинг 1 точка	Рейтинг 2 точка	Оценка	
1	Алиева Полина А.	66,00	78,00	Отлично	
2	Алиев Максим О.	74,50	67,00	Отлично	
3	Белов Владислав И.			Неявка	
4	Белов Ярослав К.	13,00	48,00	Хорошо	
5	Белов Вадан А.	62,50	95,00	Отлично	
6	Васильев Артур М.			Удовлетворительно	
7	Васильев Арсений Д.	24,50	45,50	Хорошо	
8	Гаврилов Ян Ю.			Удовлетворительно	
9	Григорьев Никита С.	35,50	60,50	Хорошо	
10	Григорьев Никита П.	17,50	9,00	Удовлетворительно	
11	Давыдов Мария С.	52,00	74,50	Отлично	
12	Давыдов Юлия Е.	57,50	95,00	Отлично	
13	Евдокимов Ольга В.	67,00	95,00	Отлично	
14	Заварова Полина В.	55,00	40,50	Хорошо	
15	Заваров Ярослав И.	58,50	87,50	Отлично	
16	Заваров Сергей А.	50,00	34,00	Хорошо	
17	Ковалева Марина П.	7,50	1,50	Удовлетворительно	
18	Ковалев Кирилл М.			Неявка	
19	Павлов Даниил В.	54,50	42,00	Отлично	
20	Павлов Никита М.	15,50	11,00	Хорошо	
21	Павлов Павел А.	13,00	45,50	Удовлетворительно	
22	Романов Илья О.	54,00	47,00	Отлично	
23	Сидоров Иван С.	72,00	95,00	Отлично	
24	Экимова Андрей Д.			Удовлетворительно	

Рис. 10. - Результат работы внешней обработки

Таким образом можно создавать формы для поиска, группировки и анализа любых хранящихся в 1С данных. При этом необязательно делать по одной внешней обработке с одной формой под каждую прикладную задачу – в одну обработку можно вставить множество табличных частей и форм, следовательно, в рамках одной обработки можно делать множество различных отчетов и сводов. А комбинированное использование языка запросов и программирования в 1С позволяют создавать универсальные формы, в которых в одном месте можно получать различные сводно-аналитические выборки, например, как показано на рисунке 11.

N	институт	Бюджет	Контракт	Всего
1	Институт леса и природопользования	1 171	457	1 628
2	Институт ландшафтной архитектуры, строительства и обработки древесины	1 099	229	1 328
3	Институт лесного бизнеса и инноватики	319	412	732
4	Институт технологических машин и транспорта леса	1 149	191	1 340
5	Институт химической переработки биомассы дерева и техносферной безопасности	311	108	419
6	Аспирантура	107	32	139
7	Колледж технологий лесного комплекса и садово-паркового хозяйства	336	294	630
Всего 7		4 492	1 723	6 216

Рис. 11. - Универсальная внешняя обработка для получения отчетов по контингенту

Библиографический список

1. Логачев А.А. Формирование и учет приказов на поощрение студентов за активное участие в жизни университета // Информационные системы и технологии: теория и практика. Сборник научных трудов, Санкт-Петербург, 2024. С. 87-91.
2. Логачева Л.Г. Разработка программного решения для сравнительного анализа учебных планов с целью выявления возможных ошибок на этапе их проектирования // Информационные системы и технологии: теория и практика. Сборник научных трудов, Санкт-Петербург, 2024. С. 92-99.
3. Логачева Л.Г. Анализ и обработка результатов приемной кампании для формирования форм мониторинга ВПО // Информационные системы и

технологии: теория и практика. Сборник научных трудов. Отв. редактор М.Р. Вагизов. Санкт-Петербург, 2023. С. 103-108.

Л.Г. Логачева, старший преподаватель
Кафедра информационных систем и технологий
СПбГЛТУ им. С.М. Кирова
pushkarevaluba@yandex.ru

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БИБЛИОТЕКИ NRC FUZZYJ TOOLKIT ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ ЭКСПЕРТНЫХ СИСТЕМ С НЕЧЁТКОЙ ЛОГИКОЙ НА ПРИМЕРЕ ОЦЕНКИ ЖИЗНЕННОГО СОСТОЯНИЯ ДЕРЕВЬЕВ

USING THE NRC FUZZYJ TOOLKIT LIBRARY TO BUILD EXPERT SYSTEMS WITH FUZZY LOGIC USING THE EXAMPLE OF ASSESSING THE LIFE STATE OF TREES

Аннотация. В данной статье описана возможность использования механизмов нечёткой логики для оценки жизненного состояния деревьев. Рассматривается библиотека на языке Java, предоставляющая возможность формирования нечётких правил логического вывода для создания диагностической экспертной системы.

Annotation. This article describes the possibility of using fuzzy logic mechanisms to assess the life condition of trees. A library in the Java language is being considered, which provides the possibility of forming fuzzy inference rules for creating a diagnostic expert system.

Ключевые слова: нечёткая логика, java, экспертные системы, функции принадлежности, окружающая среда.

Keywords: fuzzy logic, java, expert systems, membership functions, natural environment

Введение

Древесные растения чувствительны к изменению и загрязнению окружающей среды, так как поглощают и нейтрализуют часть атмосферных загрязнителей, задерживают частицы пыли [1].

Под влиянием комплекса неблагоприятных факторов городской среды древесные растения характеризуются рядом изменений в росте и развитии. Они в большей степени подвержены различным заболеваниям вследствие снижения иммунитета. Устойчивость отдельных видов растений определяется наследственными признаками, возрастом растений и комплексом влияющих условий окружающей среды.

Одним из показателей, который отражает степень устойчивости растений в ходе роста и развития, выступает **жизненное состояние**. Под жизненным состоянием растений понимается совокупность морфоструктурных и ростовых особенностей, эффективность использования ресурсов местообитания, а также способность противостоять стрессовым воздействиям.

Таким образом, оценку жизненного состояния древесных растений, используемых в городском озеленении, можно рассматривать как одну из возможностей обоснования рекомендаций для использования в городском озеленении наиболее продуктивных и долговечных зеленых насаждений.

Постановка задачи

В данной работе необходимо сформировать минимальный набор лингвистических переменных, с помощью которых можно описать состояние деревьев. В данном случае предполагается использование визуальной оценки состояния древесных растений.

Далее необходимо сформировать правила логического вывода, благодаря которым экспертная система будет формировать решение.

В качестве программного обеспечения для решения поставленной задачи предлагается использование библиотеки NRC FuzzyJ Toolkit [2].

FuzzyJ Toolkit – это Java API для представления нечёткой информации и работы с ней.

Данный инструментарий включает в себя набор классов (пакет `nrc.fuzzy`), которые позволяют пользователю создавать нечеткие системы на Java, а также дополнительного набора классов (пакет `nrc.fuzzy.jess`), которые включают некоторые пользовательские функции Jess для обеспечения интеграции с Jess, оболочкой экспертной системы от Sandia National Laboratories.

Большая часть работы над данной библиотекой основана на более раннем опыте создания расширения FuzzyCLIPS для оболочки экспертной системы CLIPS.

Для формирования интерфейса экспертной системы будет использоваться библиотека Java Swing, предоставляющая широкий набор инструментов для построения графических интерфейсов.

Описание лингвистических переменных

Лингвистическая переменная – это переменная, которая может принимать нечёткие значения.

Каждая лингвистическая переменная ассоциируется с некоторым набором нечетких термов, значение которых эта переменная принимает.

В рамках выбранной предметной области можно выделить следующий минимальный набор нечётких переменных и их термов:

Входные параметры:

1. Процент живых ветвей в кроне (от 0 до 100%)
- малый

- средний
- высокий
- 2. Степень облиственности кроны (от 0 до 100%)
- малая

- средняя
- высокая

Выходной параметр:

1. Устойчивость (от 0 до 40 баллов)

- устойчивый
- среднеустойчивый
- неустойчивый

Для описания лингвистических переменных используются функции принадлежности.

Функцией принадлежности (mf - membership function) называется функция, которая позволяет вычислить степень принадлежности произвольного элемента универсального множества к нечеткому множеству.

Существует множество типовых форм для задания функций принадлежности: трапециевидная, треугольная и так далее.

В данной работе для описания лингвистических переменных используется трапециевидная функция принадлежности.

График функции принадлежности для переменной «Процент живых ветвей в кроне» представлена на рисунке 1.

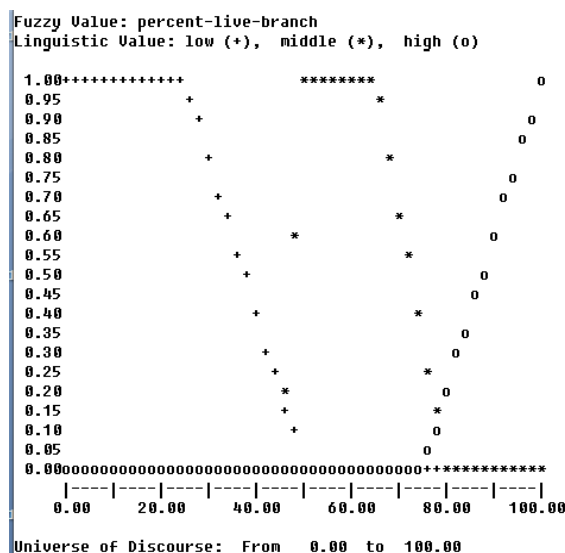


Рис. 1. - График функции принадлежности переменной «Процент живых ветвей в кроне»

Описание переменных представлено на рисунке 2.

```

// Нечёткая переменная "Процент живых ветвей" описывается набором термов: low, middle и high
percent_live_branch = new FuzzyVariable("percent live branch", 0.0, 100.0, "Percent");
percent_live_branch.addTerm("low", new TrapezoidFuzzySet(0.0, 0.0, 25.0, 50.0));
percent_live_branch.addTerm("middle", new TrapezoidFuzzySet(45.0, 50.0, 65.0, 80.0));
percent_live_branch.addTerm("high", new SFuzzySet(75.0, 100.0));

// Нечёткая переменная "Степень облиственности кроны" описывается набором термов: low, middle и high
degree_of_foliage = new FuzzyVariable("degree of foliage", 0.0, 100.0, "Percent");
degree_of_foliage.addTerm("low", new TrapezoidFuzzySet(0.0, 0.0, 25.0, 50.0));
degree_of_foliage.addTerm("middle", new TrapezoidFuzzySet(45.0, 50.0, 65.0, 80.0));
degree_of_foliage.addTerm("high", new SFuzzySet(75.0, 100.0));

// Нечёткая переменная "Устойчивость" описывается набором термов: unstable, medium-stable и stable
type_tree = new FuzzyVariable("type tree", 0.0, 40.0, "Balls");
type_tree.addTerm("unstable", new TrapezoidFuzzySet(0.0, 0.0, 35.0, 36.0));
type_tree.addTerm("medium-stable", new TrapezoidFuzzySet(35.0, 36.0, 38.0, 39.0));
type_tree.addTerm("stable", new SFuzzySet(38.0, 39.0));

```

Рис. 2. - Описание лингвистических переменных

Формирование правил логического вывода

Основой для проведения операции нечеткого логического вывода является база правил, содержащая нечеткие высказывания в форме «Если - то» и функция принадлежности для соответствующих лингвистических терминов. Набор правил для поставленной задачи представлен в табл. 1.

Таблица1

Набор правил для поставленной задачи

Процент живых ветвей в кроне	Степень облиственности кро- ны	Устойчивость
Малый	малая	неустойчивый
Малый	средняя	неустойчивый
Малый	высокая	неустойчивый
Средний	малая	неустойчивый
Средний	средняя	среднеустойчивый
Средний	высокая	среднеустойчивый
Высокий	малая	неустойчивый
Высокий	средняя	среднеустойчивый
Высокий	высокая	устойчивый

Код для описания правил представлен на рисунке 3.

```

// Набор нечётких правил
lowLow.addAntecedent(new FuzzyValue(percent_live_branch,"low"));
lowLow.addAntecedent(new FuzzyValue(degree_of_foliage,"low"));
lowLow.addConclusion(new FuzzyValue(type_tree,"unstable"));

lowMiddle.addAntecedent(new FuzzyValue(percent_live_branch,"low"));
lowMiddle.addAntecedent(new FuzzyValue(degree_of_foliage,"middle"));
lowMiddle.addConclusion(new FuzzyValue(type_tree,"unstable"));

lowHigh.addAntecedent(new FuzzyValue(percent_live_branch,"low"));
lowHigh.addAntecedent(new FuzzyValue(degree_of_foliage,"high"));
lowHigh.addConclusion(new FuzzyValue(type_tree,"unstable"));

middleLow.addAntecedent(new FuzzyValue(percent_live_branch,"middle"));
middleLow.addAntecedent(new FuzzyValue(degree_of_foliage,"low"));
middleLow.addConclusion(new FuzzyValue(type_tree,"unstable"));

middleMiddle.addAntecedent(new FuzzyValue(percent_live_branch,"middle"));
middleMiddle.addAntecedent(new FuzzyValue(degree_of_foliage,"middle"));
middleMiddle.addConclusion(new FuzzyValue(type_tree,"medium-stable"));

middleHigh.addAntecedent(new FuzzyValue(percent_live_branch,"middle"));
middleHigh.addAntecedent(new FuzzyValue(degree_of_foliage,"high"));
middleHigh.addConclusion(new FuzzyValue(type_tree,"medium-stable"));

highLow.addAntecedent(new FuzzyValue(percent_live_branch,"high"));
highLow.addAntecedent(new FuzzyValue(degree_of_foliage,"low"));
highLow.addConclusion(new FuzzyValue(type_tree,"unstable"));

highMiddle.addAntecedent(new FuzzyValue(percent_live_branch,"high"));
highMiddle.addAntecedent(new FuzzyValue(degree_of_foliage,"middle"));
highMiddle.addConclusion(new FuzzyValue(type_tree,"medium-stable"));

highHigh.addAntecedent(new FuzzyValue(percent_live_branch,"high"));
highHigh.addAntecedent(new FuzzyValue(degree_of_foliage,"high"));
highHigh.addConclusion(new FuzzyValue(type_tree,"stable"));

```

Рис. 3. - Набор правил нечёткого вывода

Логика работы экспертной системы заключается в следующем:

1. Введённые пользователем числовые значения проходят через процедуру **фаззификации**, которая заключается в преобразовании точного множества входных данных в нечеткое множество, определяемое с помощью значений функций принадлежности
2. На основании набора правил формируется итоговое решение и при выводе результата производится процедура **дефаззификации**, которая формирует однозначное решение относительно значений выходных переменных на основании многих нечетких выводов, вырабатываемых исполнительным модулем нечеткой системы.

Разработка и тестирование экспертной системы

Для формирования графического интерфейса использовалась библиотека Java Swing [3].

Рассмотрим примеры работы экспертной системы при различных значениях входных параметров (рисунок 4).

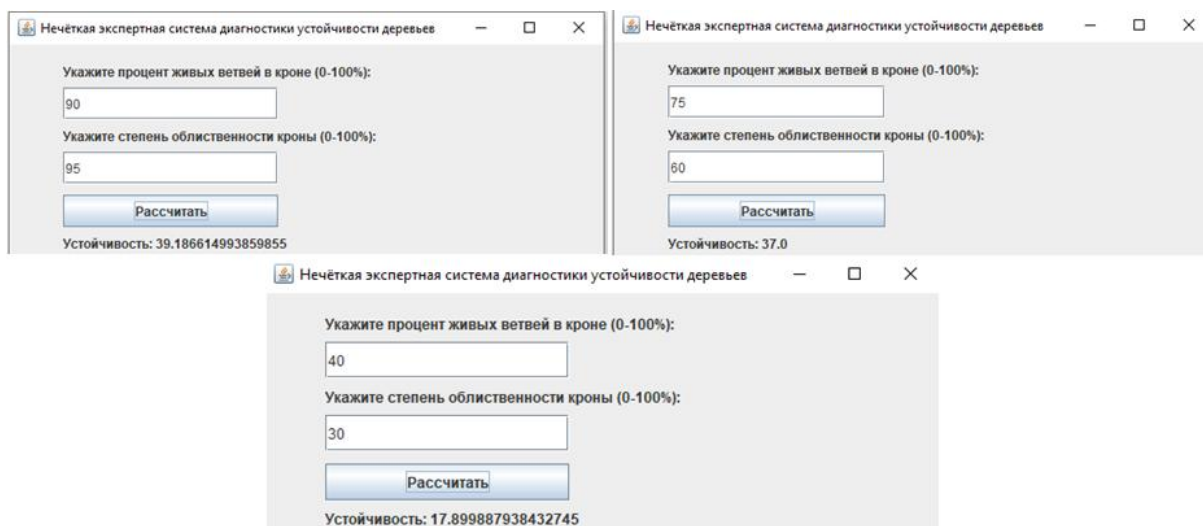


Рис. 4. - Примеры консультации с экспертной системой

Таким образом, можно убедиться, что сформированный в программе механизм логического вывода работает корректно.

Заключение

В результате выполнения данной работы была построена экспертная система на базе нечёткой логики с использованием библиотеки NRC FuzzyJ Toolkit для языка Java. Следует отметить, что использование механизма нечёткой логики позволяет строить более гибкие и профессиональные программные решения с большим потенциалом для дальнейшего развития.

Библиографический список

1. С.Н. Жакова, Е.В. Пименова Экологические методы диагностики жизнеспособности древесных растений: практикум / Министерство сельского хозяйства Российской Федерации, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Пермский аграрно-технологический университет имени академика Д.Н. Прянишникова». – Пермь: ИПЦ «Прокрость», 2020. – 54 с.
2. NRC FuzzyJ Toolkit for the Java(tm) Platform User's Guide. – Текст: электронный // NRC FuzzyJ Toolkit: [сайт]. – URL: <https://www.csie.ntu.edu.tw/~sylee/courses/FuzzyJ/Docs/> (дата обращения: 15.02.2025).
3. Java Swing – графический интерфейс. [Электронный ресурс]. URL: <https://progoschool.ru/java/java-swing/?ysclid=m76bt68voi949997493> (дата обращения: 15.02.2025).

Д. И. Маклашин, магистрант 2 курса ИЛиП
Кафедра информационных систем и технологий
СПб ГЛТУ им. С.М.Кирова
densuper2005@gmail.com

С. П. Хабаров, кандидат технических наук, доцент
Кафедра информационных систем и технологий
СПб ГЛТУ им. С.М.Кирова
serg.habarov@mail.ru

РЕАЛИЗАЦИЯ МУРАВЬИНОГО АЛГОРИТМА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РАСПРЕДЕЛЁННЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ

IMPLEMENTATION OF THE ANT COLONY ALGORITHM USING DISTRIBUTED COMPUTING

***Аннотация.** В статье демонстрируется подход к организации распределенной системы на примере клиент-серверной архитектуры для решения задачи о рюкзаке с помощью алгоритма муравьиной колонии и его реализация в среде .Net (C#). Описаны взаимодействие между сервером и клиентами, а также возможности параллельного выполнения АСО. Приведены диаграммы архитектуры приложения, примеры реализации на C# и анализ эффективности алгоритма с теоретической и практической точки зрения, включая тестирование на виртуальных машинах.*

***Abstract.** This paper discusses a distributed system for solving the knapsack problem using the Ant Colony Optimization (ACO) algorithm in the .NET (C#) environment. The interaction between the server and clients is described, as well as the parallel execution capabilities of ACO. The paper includes architecture diagrams, C# implementation examples, and an analysis of the algorithm's efficiency from both theoretical and practical perspectives, including testing on virtual machines.*

***Ключевые слова:** задача о рюкзаке, распределённая система, алгоритм муравьиной колонии, параллельные вычисления, оптимизация, websocket, C#.*

***Keywords:** knapsack problem, distributed system, ant colony algorithm, parallel computing, optimization, websocket, C#.*

Введение.

Муравьиный алгоритм (Ant Colony Optimization, АСО) был предложен Марко Дориго в 1991 году как метод решения задач оптимизации, вдохновлённый поведением муравьёв, которые находят оптимальный путь к пище. Этот алгоритм успешно применяется для решения различных задач, таких как задача коммивояжёра, задача о рюкзаке и других.

Постановка задачи.

Целью данной статьи является демонстрация возможности ускорения работы муравьиного алгоритма за счёт распределённых вычислений на примере задачи о рюкзаке.

Суть задачи о рюкзаке заключается в выборе набора предметов с максимальной стоимостью, при этом общий вес предметов не должен превышать заданную вместимость рюкзака.

Этот класс задач широко применяется в различных производственных и прикладных областях благодаря своей универсальности и способности к формализации различных оптимизационных ситуаций, таких как: оптимизация загрузки транспортных средств с учетом веса и стоимости перевозимых товаров, выбор оптимального набора материалов для производства с учетом их стоимости и объема производства и других.

Сравнение с другими алгоритмами

Задача о рюкзаке является NP-сложной, и муравьиный алгоритм позволяет найти приближённое решение за разумное время. В отличие от других алгоритмов, таких как полный перебор и динамическое программирование, АСО демонстрирует более эффективную работу на больших входных данных.

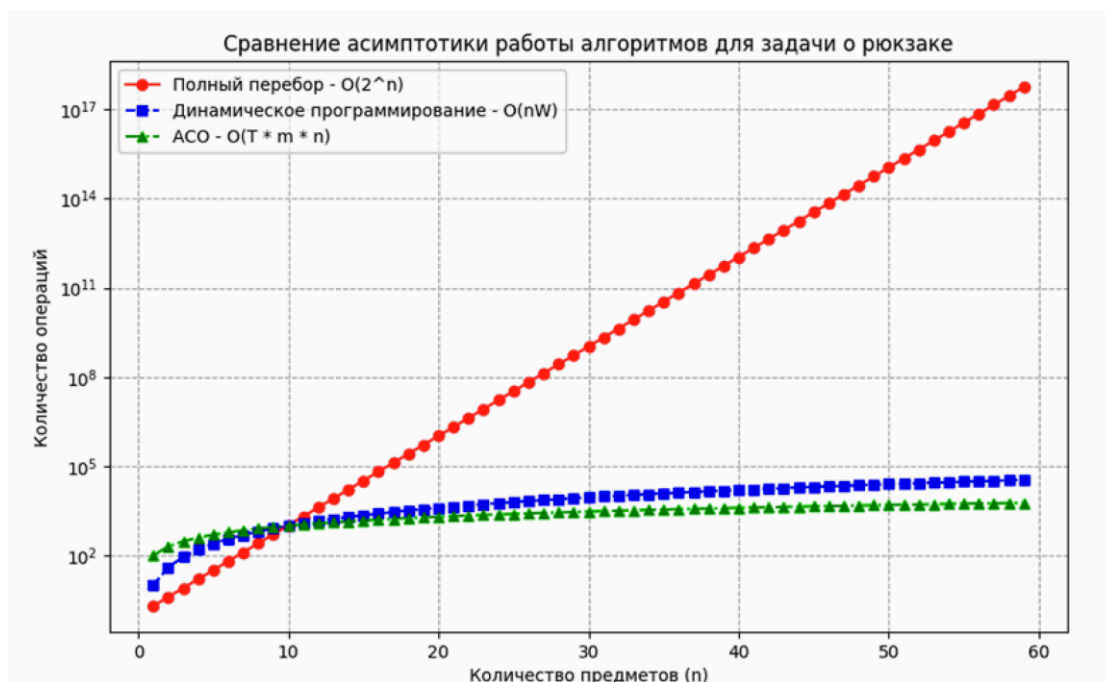


Рис. 1. - График асимптотики работы алгоритмов для задачи о рюкзаке

Полный перебор (brute-force) имеет экспоненциальную сложность $O(2^n)$, что делает его непрактичным для больших значений n . Динамическое программирование снижает сложность до $O(nW)$, где W — вместимость рюкзака, но при больших значениях W его применение становится затруднительным из-за использования значительного объема памяти. В то же время АСО, имея эвристическую природу, демонстрирует производи-

тельность, близкую к полиномиальной, обеспечивая баланс между точностью и скоростью вычислений.

Сравнение асимптотики работы алгоритмов в нотации Big O на рисунке 1.

Возможности распараллеливания АСО

Муравьиный алгоритм обладает естественной параллельной природой, так как каждый муравей может работать независимо от других. Это позволяет распределить вычисления между несколькими узлами.

В муравьиных алгоритмах феромоны играют ключевую роль в поиске оптимальных решений, выступая в качестве меток для путей, по которым следуют муравьи. Адаптация феромонов — это процесс изменения их уровня на основе качества найденных решений, что позволяет алгоритму «учиться» на предыдущих итерациях: усиливать хорошие пути и ослаблять плохие. Это помогает быстрее находить оптимальные решения и избегать повторения неудачных попыток.

Адаптация феромонов может выполняться двумя основными способами. Локальное обновление происходит во время построения решения, когда феромоны обновляются на каждом этапе пути муравья, влияя на последующие решения. Глобальное обновление выполняется после завершения всех решений за итерацию, учитывая качество всех найденных путей и корректируя феромоны на основе их эффективности. Эти механизмы позволяют алгоритму эффективно исследовать пространство решений. В данной статье за основу взят способ глобального обновления феромонов.

Архитектура приложения

Разрабатываемая распределенная система основана на клиент-серверной архитектуре и предназначена для решения задачи о рюкзаке с использованием алгоритма муравьиной колонии. Система реализована в среде .NET (C#) и взаимодействует через WebSocket, обеспечивая эффективный обмен данными между сервером и клиентами.

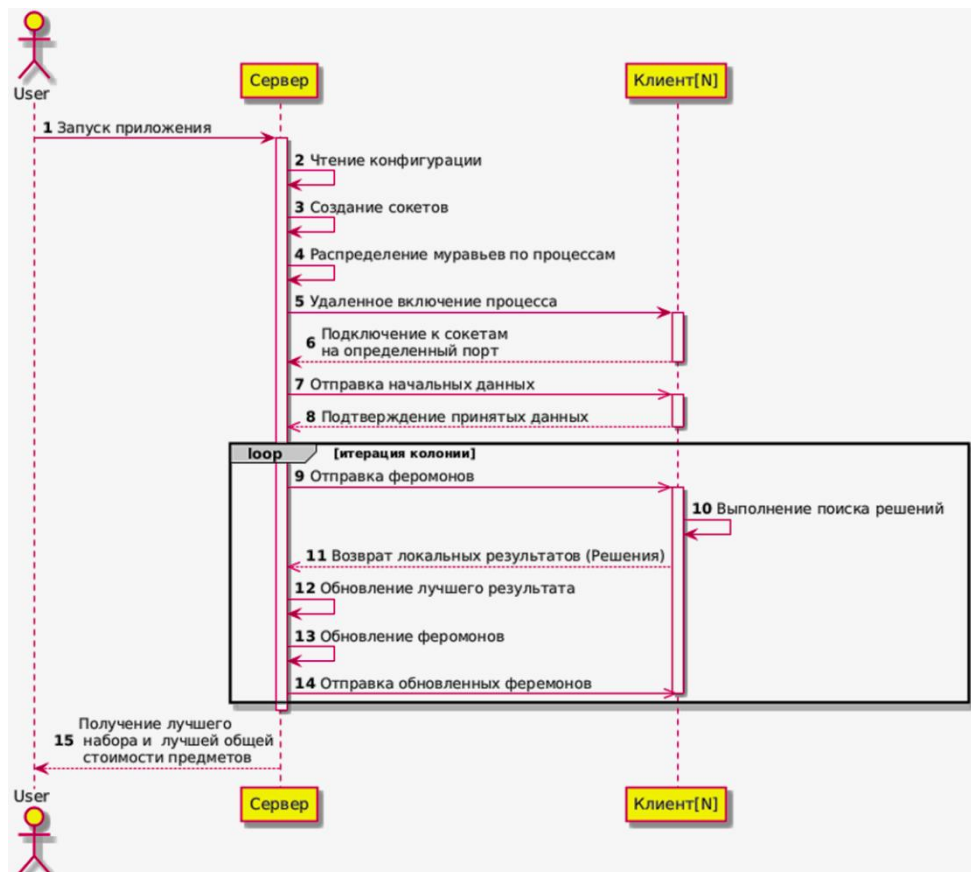


Рис. 2. - UML-диаграмма последовательности работы приложения

Сервер выступает центральным координационным узлом, принимая запросы от клиентов, распределяя вычислительные задачи и обрабатывая результаты. Клиенты, запущенные на удаленных узлах, получают от сервера параметры задачи, выполняют вычисления и отправляют обратно найденные решения. Такая организация позволяет параллельно обрабатывать различные итерации алгоритма, снижая общее время вычислений и повышает производительность.

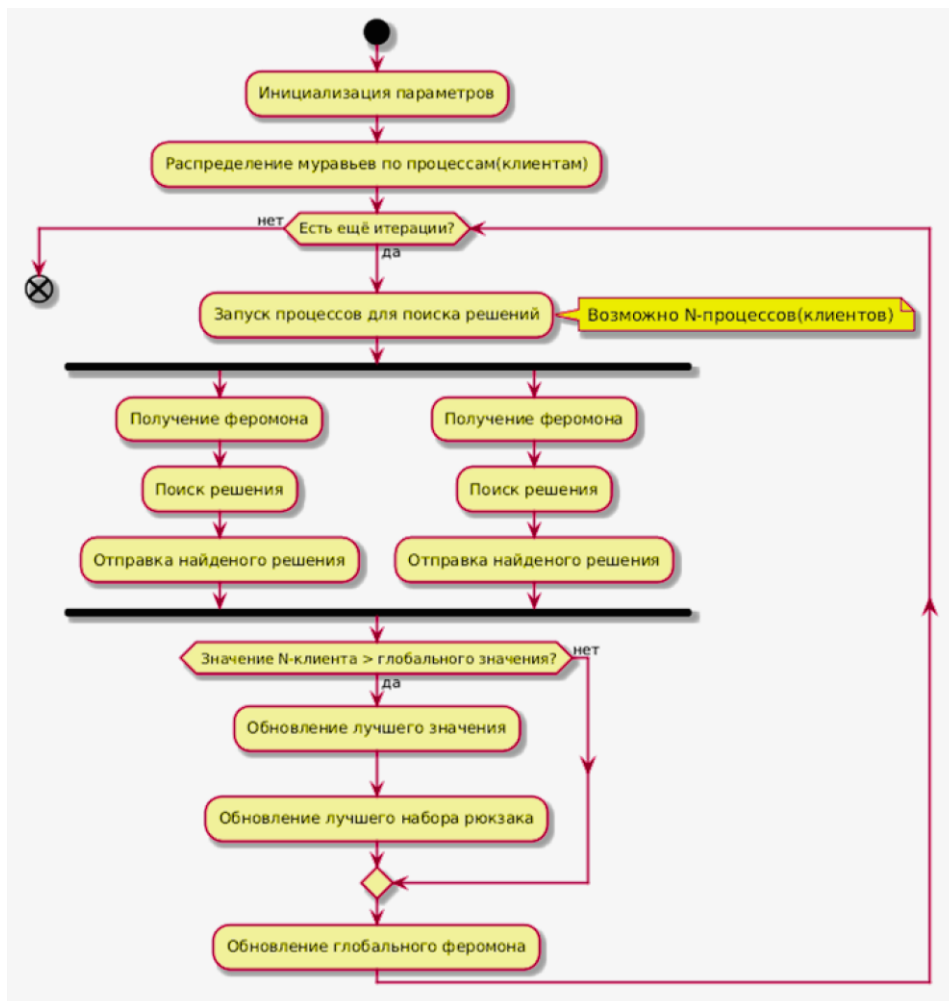


Рис. 3. - UML-диаграмма активности работы приложения

Для визуального представления приложения были разработаны диаграмма последовательности (рисунок 2) и диаграмма активности (рисунок 3).

Пример реализации на C#

Реализация распределенной системы выполнена на языке C#, что обусловлено его высокой производительностью по сравнению с интерпретируемыми языками, такими как Python и Octave. В отличие от Python, где выполнение кода осуществляется через интерпретатор, C# использует Just-In-Time (JIT) компиляцию, что позволяет значительно ускорить выполнение критических вычислений. Octave, будучи инструментом для численных расчетов, также уступает в скорости из-за отсутствия продвинутой многопоточности и оптимизаций под многопроцессорные системы.

```

Ссылка 3
private async Task SendData(int clientIndex, string message)
{
    if (clients[clientIndex].State == WebSocketState.Open)
    {
        byte[] responseBuffer = Encoding.UTF8.GetBytes(message);
        await clients[clientIndex].SendAsync(new ArraySegment<byte>(responseBuffer),
            WebSocketMessageType.Text, true, CancellationToken.None);
    }
}

Ссылка 3
public async Task<string> ReceiveData(int clientIndex, int countBuffer)
{
    byte[] buffer = new byte[countBuffer];

    if (clients[clientIndex].State == WebSocketState.Open)
    {
        var result = await clients[clientIndex].ReceiveAsync(new ArraySegment<byte>(buffer),
            CancellationToken.None);
        if (result.MessageType == WebSocketMessageType.Text)
        {
            return Encoding.UTF8.GetString(buffer, 0, result.Count);
        }
    }

    return string.Empty;
}

```

Рис. 4. - Листинг кода пересылки сообщений между сервером и клиентом

Для обмена данными между сервером и клиентами используется WebSocket. Это обеспечивает низкую задержку при передаче сообщений и двустороннюю коммуникацию. В листинге кода на рисунке 4 представлены метод по отправке и получения сообщений от сервера к клиенту.

Входные и выходные данные

Входные данные для алгоритма загружаются из конфигурационного файла config.json, который содержит параметры работы системы, такие как количество итераций, параметры муравьиного алгоритма и ограничения задачи о рюкзаке. Сам набор предметов для рюкзака формируется случайным образом, что позволяет тестировать алгоритм на различных входных данных и оценивать его устойчивость к изменениям параметров.

<pre> C:\dev\cs\V3.1 - WebSocket\Server.exe Количество муравьев на клиенте: [6 6 6 6 6 6 6 6 6 5 5 5 5 5 5] ----- Клиент 17 подключился к 127.0.0.1:6000 ----- --- Время запуска клиентских сокетов : 1,4891603 с. --- Состав предметов: 68,131,321,668,876,144,928,706,1 2,750,306,465,36,877,896,315,945,309,37,456,329,460,95 7,445,211,463,940 --- Общая стоимость: 15307 --- Время выполнения алгоритма: 4,3724266 с. --- Общее время выполнения: 5,8615869 с. </pre>	<pre> { "numClients": 18, "maxAnts": 100, "inPort": 6000, "maxIteration": 200, "alpha": 1.0, "beta": 5.0, "Q": 100, "RHO": 0.1, "countSubjects": 1000 } </pre>
--	--

Рис. 5. - Пример работы приложения, входные и выходные данные

Выходные данные включают найденное приближённое решение задачи, которое выводится в консоль в текстовом формате и сохраняется в базе данных.

Анализ эффективности

Перед тем, как практически проверить производительность требуется узнать теоретическое ускорение. Закон Амдала используется для оценки

максимального ускорения, которое можно достичь при параллелизации программы. Он показывает зависимость ускорения от доли вычислений, которые могут быть распараллелены, и от числа процессоров (или вычислительных узлов). Формула для вычисления:

$$S = \frac{1}{(1 - P) + \frac{P}{N}}$$

где:

S – теоретически возможное ускорение (эффективность быстродействия) при параллельных вычислениях;

P – доля задачи, которая может быть распараллелена;

N – количество параллельных вычислительных узлов или процессоров.

Доля распараллеливания будет принята за 85%. То есть при 10 активных клиентах, скорость выполнения должна увеличиться ~ в 4 раза (рисунок 6).

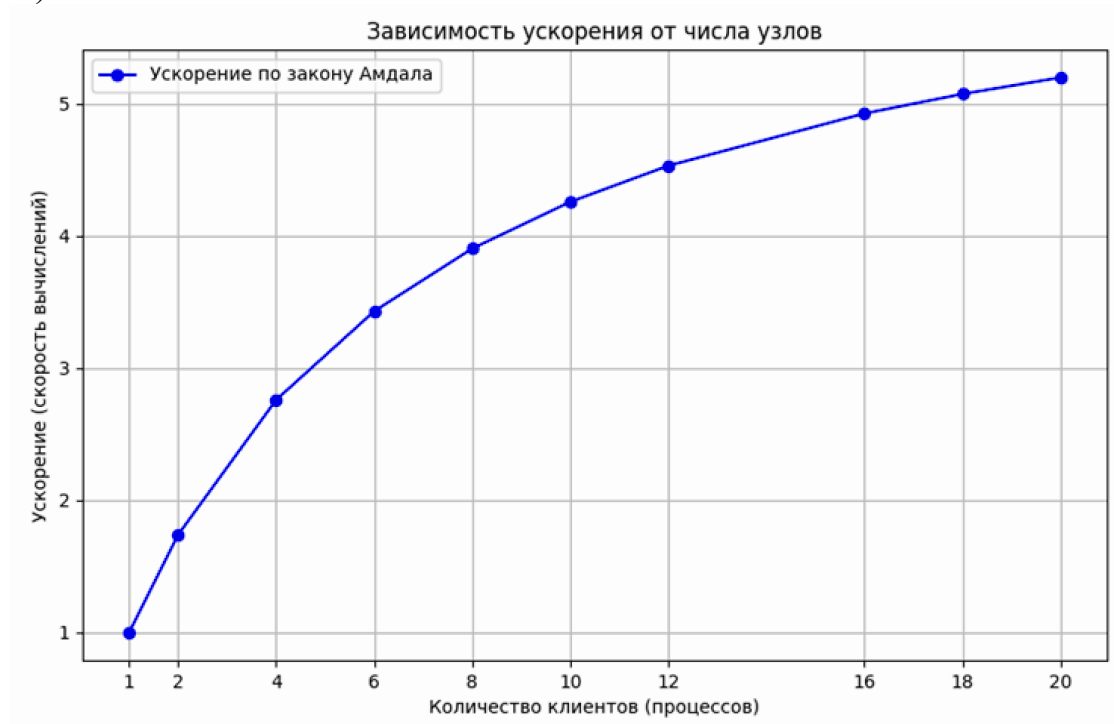


Рис. 6. - Теоретическое ускорение от распараллеливания алгоритма

Результаты реального тестирования на виртуальных машинах (среднее значение из 5 прогонов) это подтверждают - рисунок 7.

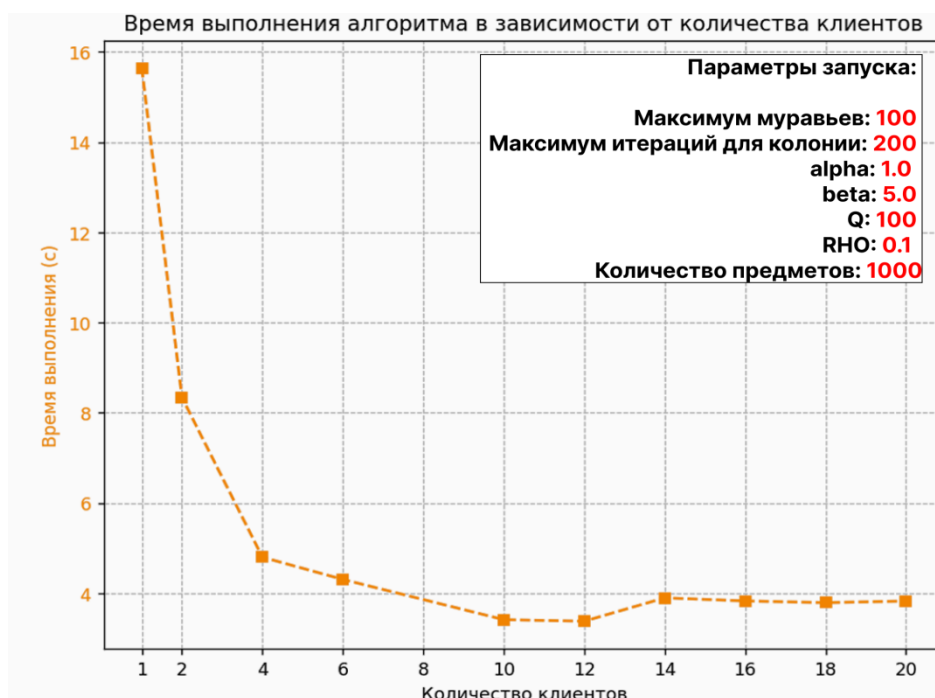


Рис. 7. - Результаты тестирования на виртуальных машинах

При тестировании в конфигурации больше 12 клиентов ускорение не произошло, так как на тестовом оборудовании было превышение числа активных процессов над доступными логическими ядрами, оно может вызывать снижение эффективности из-за конкуренции за процессорное время и увеличения накладных расходов(overhead).

Заключение

В статье представлена распределенная система для решения задачи о рюкзаке с использованием алгоритма муравьиной колонии (ACO) в среде .NET (C#). Рассмотрены возможности параллельного выполнения ACO в клиент-серверной архитектуре, а также взаимодействие компонентов системы через диаграммы последовательности и активности.

Анализ эффективности алгоритма, проведённый с использованием закона Амдала и тестирования на виртуальных машинах, показал, что ускорение зависит от правильной конфигурации и оптимального распределения задач между клиентами. Предложенная система показала хорошие результаты при адекватной настройке.

Библиографический список

1. Хабаров, С. П. Интеллектуальные системы и технологии. Роевые алгоритмы: инновационные подходы к оптимизации: учебное пособие / С. П. Хабаров, А. М. Заяц / под ред. Хабаров С. П. – Санкт-Петербург: СПбГЛТУ, 2024. – 190 с.
2. Ant colony optimization algorithms. [Электронный ресурс]. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Ant_colony_optimization_algorithms (Дата обращения: 18.02.25)

3. Хабаров С.П. Построение распределенных систем на базе WebSocket / С. П. Хабаров, М. Л. Шилкина. — 2-е изд., стер. — Санкт-Петербург: Лань, 2023. — 216 с. — ISBN 978-5-507-46078-6
4. Документация по основам .NET. [Электронный ресурс]. URL: <https://learn.microsoft.com/ru-ru/dotnet/fundamentals/> (Дата обращения: 18.02.25)
5. Репозиторий с проектом. [Электронный ресурс]. URL: <https://github.com/MyfirstAcc/AntDist/tree/WebSocket>

И.А.Мартын, кандидат технических наук, доцент
Кафедра прикладной информатики
РГГМУ

irma_martyn@mail.ru

Э.С.Клюшина, студент
Кафедра прикладной информатики
РГГМУ

ОЦЕНКА ИЗМЕНЕНИЯ ПЛОЩАДИ ЛЕСНОГО МАССИВА РЕСПУБЛИКИ КОМИ

ASSESSMENT OF CHANGES IN THE FOREST AREA OF THE KOMI REPUBLIC

Аннотация: Статья посвящена оценке изменения площади лесного массива Республики Коми методом расчета по контурам с использованием языка программирования Python. В работе рассматривается автоматизация процесса обработки спутниковых снимков и определения границ лесных массивов с помощью алгоритмов машинного зрения. Представлены методы сегментации изображений и выделения контуров лесов, а также инструменты для вычисления площадей по полученным данным. Проведена оценка изменчивости площади леса Республики за период 2020-2024гг..Результаты исследования демонстрируют возможность оперативного отслеживания изменений в лесопокрыве региона, что имеет важное значение для экологического контроля и управления природными ресурсами.

Abstract: The article is devoted to the assessment of changes in the forest area of the Komi Republic using the contour calculation method using the Python programming language. The paper considers automation of the process of processing satellite images and defining the boundaries of woodlands using machine vision algorithms. Methods of image segmentation and forest contour extraction are presented, as well as tools for calcu-

lating areas based on the data obtained. The variability of the Republic's forest area for the period 2020-2024 has been assessed. The results of the study demonstrate the possibility of rapid monitoring of changes in the forest cover of the region, which is important for environmental control and management of natural resources.

Ключевые слова: машинное зрение, Python, лесные ресурсы, Республика Коми.

Keywords: machine vision, Python, forest resources, Komi Republic.

Лесные ресурсы Республики Коми играют ключевую роль в экономике и экологии региона, обеспечивая устойчивое развитие и сохранение биоразнообразия. Оценка динамики изменения площади лесного покрова является важным аспектом мониторинга состояния природных экосистем и планирования мероприятий по их сохранению. Современные технологии дистанционного зондирования Земли позволяют оперативно получать актуальные данные о состоянии лесов, что значительно упрощает процесс анализа и прогнозирования изменений в лесном покрове [1].

Целью данной работы является оценка изменчивости площади лесов, полученных с данных дистанционного зондирования с использованием языка программирования Python.

Предлагаемый подход позволяет существенно сократить временные затраты на обработку больших объемов данных и повысить точность оценки изменений в лесном покрове, что делает его перспективным инструментом для экологического мониторинга и управления лесными ресурсами [2].

По результатам обработки снимков дистанционного зондирования Земли определена площадь лесов Республики Коми за период 2020-2024гг. (Табл.1) и построен график (Рисунок1).

Таблица 1.

Площадь лесов Республики Коми за период 2020-2024гг.

Год	Площадь лесов
2020	29.0
2021	28.8
2022	28.7
2023	28.6
2024	28.6

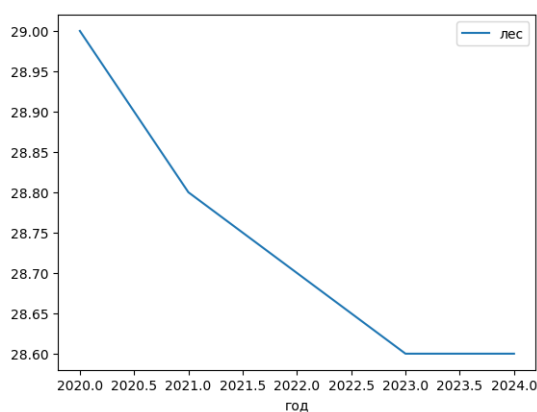


Рис. 1. - Межгодовая изменчивость площади Республики Коми за период 2020-2024гг.

Анализ графика плотности распределения показывает, что изменчивости площади леса не соответствует нормальному закону распределения и отмечается выраженная мода, соответствующая низким показателям площади леса Республики Коми (Рисунок 2). На Рисунке 1 отмечается значимая тенденция к снижению площади леса, но стоит отметить, что последние два года статически изменений площади не отмечается. При анализе автокорреляционной функции (Рисунок 3) возможно отмечаются циклические колебания, что может свидетельствовать о том, что изменчивость площади леса может являться циклическим процессом. Для более точного анализа требуется получается более объемной выборки исходных данных.

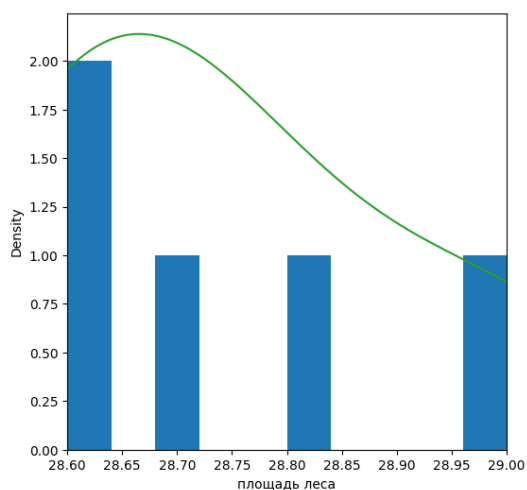


Рис. 2. - Плотность распределения площади леса Республики Коми за период 2020-2024гг.

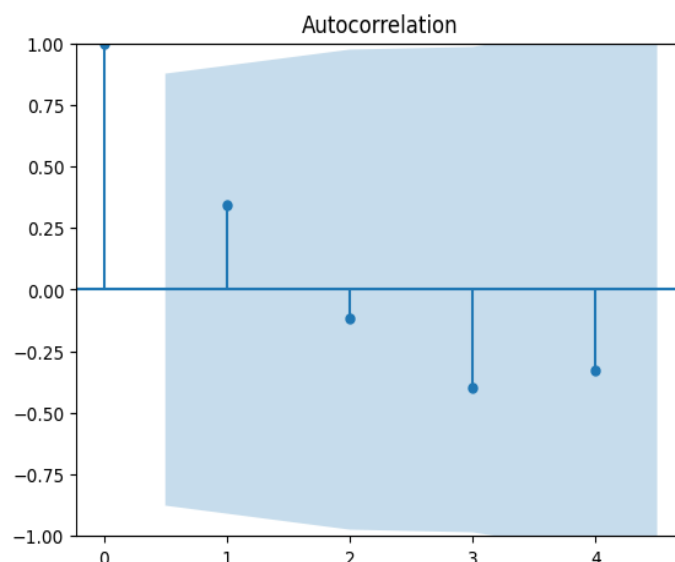


Рис. 3. - Автокорреляционная функция

В результате анализа изменчивости площади леса Республики Коми по данным дистанционного зондирования Земли совпадают с общеизвестными сведениями [3]. За период 2020-2024 гг. наблюдается значимая тенденция к сокращению площади леса, но в последние два года отрицательной тенденции не наблюдается. Возможно это связано с политикой и экологической ситуацией в республике, но также не исключается возможность, что это естественный природный цикл.

Библиографический список

1. Мартын К.А., Мартын И.А. Сегментация спутниковых изображений растительного покрова на основе теории распознавания образов// Материалы национальной (с международным участием) научно-практической конференции. Казань, 2024. С. 926-928
2. Мартын И.А., Сапронова И.В., Краева Е.В. Data mining в обработке гидрометеорологических данных// Информационные технологии и системы: управление, экономика, транспорт, право. 2022. № S1. С. 31-33.
3. Носков, В. А. Оценка состояния и изменения компонентов природного капитала лесов Северного региона и его влияние на устойчивость сырьевого обеспечения лесопереработки / В. А. Носков // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Социально-экономические науки. – 2023. – № 1. – С. 242-264.

И.А.Мартын, кандидат технических наук, доцент
Кафедра прикладной информатики
Российский государственный гидрометеорологический университет
irma_martyn@mail.ru
К.А.Мартын, ассистент
Кафедра информационных систем и технологий
СПбГЛТУ им.С.М.Кирова
martynchris@mail.ru

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА УЧЕТА ПЛОЩАДИ ЛЕСА С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ И ИИ

AUTOMATION OF THE PROCESS OF ACCOUNTING FOREST AREA USING MACHINE LEARNING AND AI METHODS

Аннотация: В статье рассматривается автоматизация процесса учета площади лесного массива с использованием методов машинного обучения и искусственного интеллекта. В условиях роста потребности в точных данных о лесных ресурсах, традиционные методы учета становятся менее эффективными и требуют значительных временных и трудовых затрат. В работе предложен подход, основанный на применении нейронных сетей и алгоритмов машинного обучения для анализа спутниковых снимков и аэрофотосъемки. Описаны этапы разработки модели, включая сбор и предварительную обработку данных, обучение и тестирование алгоритмов. Также представлены результаты применения разработанной системы, которые демонстрируют высокую точность и эффективность в сравнении с традиционными методами.

Abstract: The article discusses the automation of the accounting process of the forest area using machine learning and artificial intelligence methods. With the growing need for accurate data on forest resources, traditional accounting methods are becoming less effective and require significant time and labor costs. The paper proposes an approach based on the use of neural networks and machine learning algorithms for the analysis of satellite images and aerial photography. The stages of model development are described, including data collection and preprocessing, training and testing of algorithms. The results of the application of the developed system are also presented, which demonstrate high accuracy and efficiency in comparison with traditional methods.

Ключевые слова: искусственный интеллект, Python, лесные ресурсы, машинное обучение.

Keywords: artificial intelligence, Python, forest resources, machine learning.

Лесные массивы играют ключевую роль в экосистеме Земли, обеспечивая кислород, защищая почву от эрозии и служат домом для множества видов животных и растений. Учет площади леса является важным аспектом управления лесными ресурсами, так как позволяет отслеживать изменения в лесных экосистемах, планировать лесопользование и предотвращать незаконные вырубki. Традиционные методы учета площади леса, такие как наземные обследования и аэрофотосъемка, требуют значительных временных и трудовых затрат, а также подвержены ошибкам из-за человеческого фактора. В последние годы методы машинного обучения и искусственного интеллекта (ИИ) стали активно применяться в различных областях, включая лесное хозяйство, для повышения точности и эффективности учета лесных ресурсов [1].

Целью данного исследования является разработка и внедрение системы автоматизации учета площади леса с использованием методов машинного обучения и ИИ.

Для решения поставленных задач могут быть использованы спутниковые снимки высокого разрешения, а также данные аэрофотосъемки. В работе представлен пример обработки на снимке аэросъемки (Рисунок1).

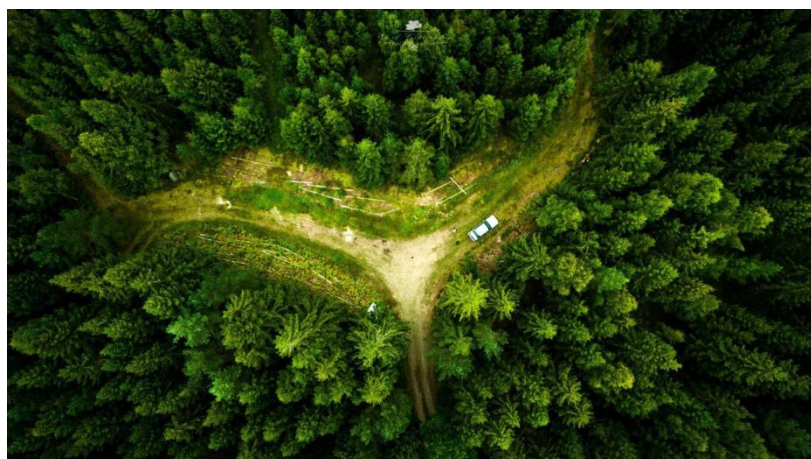


Рис. 1. - Исходный аэрофотоснимок

Для обучения модели использовались алгоритмы машинного обучения на программном обеспечении для обработки и анализа данных, включая Python, OpenCV. Алгоритм автоматизации определения площади лесного массива состоит из следующих этапов: предобработка изображения формата jpg (преобразование изображения в черно-белые цвета по выбранному пороговому значению), определение контуров, вычисление площади контуров по пикселям [2].

В результате работы исходное изображение (Рисунок 1) было преобразовано в черно-белое изображение (Рисунок 2) по которому были построены контуры и вычислены площади контуров черного и белого пикселей (Рисунок 3). Таким образом, на выбранном аэрофотоснимке площадь леса составляет порядка 640м².

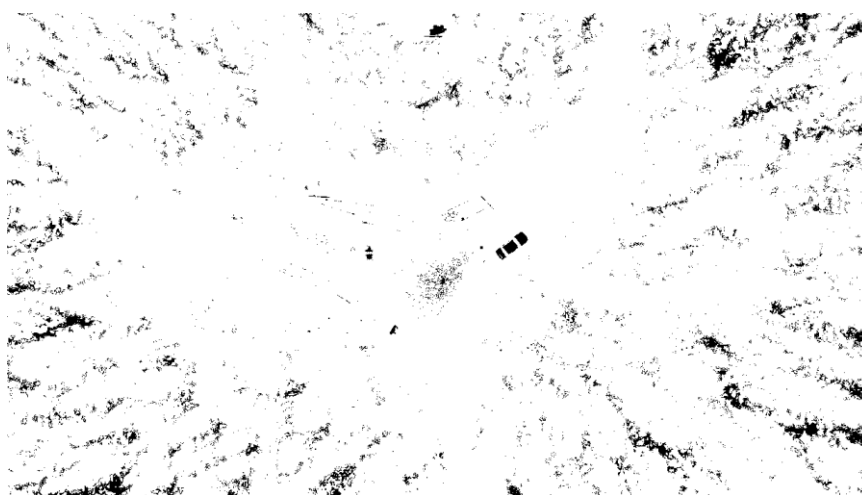


Рис. 2. - Исходный аэрофотоснимок в цветах черно-белого (после предобработки)

*** 638 - площадь леса (м2) 357 - прочая площадь (м2)

Рис. 3. - Оценка площади леса и остальной площади по результатам, рассчитанным по контурам

Автоматизация учета площади леса позволяет значительно сократить время и затраты на проведение учета, так как исключает необходимость наземных обследований и ручной обработки данных без значительной потери точности результатов.

Однако остаются некоторые ограничения и области для дальнейшего улучшения. Например, точность системы может снижаться при наличии облачности на спутниковых снимках или при недостаточном освещении при аэрофотосъемке.

В данной работе была разработана и протестирована система автоматизации учета площади леса с использованием методов машинного обучения и ИИ, на основе кластерного анализа. Результаты показали высокую точность и эффективность предложенного подхода, что делает его перспективным для применения в лесном хозяйстве. Дальнейшие исследования могут быть направлены на улучшение устойчивости системы к различным условиям съемки и расширение ее применения на другие типы лесных экосистем.

Библиографический список

1. Мартын К.А., Мартын И.А. Сегментация спутниковых изображений растительного покрова на основе теории распознавания образов// Материалы национальной (с международным участием) научно-практической конференции. Казань, 2024. С. 926-928
2. Мартын И.А., Сапронова И.В., Краева Е.В. Data mining в обработке гидрометеорологических данных// Информационные технологии и системы: управление, экономика, транспорт, право. 2022. № S1. С. 31-33.

ПРЕДОБРАБОТКА ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ДАННЫХ БАС ДЛЯ КЛАССИФИКАЦИИ ЕДИНИЦ ЛЕСНОГО МАССИВА С ПОМОЩЬЮ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

PREPROCESSING OF BAS SPATIAL DATA FOR CLASSIFICATION OF FOREST UNITS USING ARTIFICIAL INTELLIGENCE

Аннотация: *Современные методы машинного обучения и искусственного интеллекта активно используют нейронные сети для решения широкого спектра задач, связанных с обработкой изображений. Однако успешное применение таких технологий требует предварительной подготовки данных, которая включает различные этапы предобработки изображений. Этот процесс является критически важным для повышения точности моделей.*

Abstract: *Modern methods of machine learning and artificial intelligence actively use neural networks to solve a wide range of problems related to image processing. However, the successful application of such technologies requires preliminary data preparation, which includes various stages of image preprocessing. This process is critical to improving the accuracy of models.*

Ключевые слова: *предобработка данных для машинного обучения, нейронные сети, БЛА, цветокоррекция, сухостой.*

Keywords: *data preprocessing for machine learning, neural networks, UAVs, color correction, dead wood.*

Исследование на начальном этапе работы с методами машинного обучения и нейронными сетями обусловлена тем, что правильный выбор методов предобработки может существенно повысить эффективность работы нейронной сети, уменьшить время обучения и улучшить точность предсказаний. Кроме того, современные задачи компьютерного зрения требуют все более сложных подходов к обработке изображений, что делает изучение данного вопроса особенно значимым.

В рамках работы рассмотрены существующие подходы к предобработке изображений, оценена эффективность оптимальных методов для конкретной задачи - классификации лесного массива по породному составу.

Наиболее важный этап при построении нейронной сети - это создание качественного набора данных для ее обучения. Для успешного обучения нейронных сетей на изображениях необходимо применять различные методы предобработки, которые позволяют улучшить качество исходных данных и подготовить их к дальнейшему использованию. Набор данных для идентификации отдельных деревьев на снимках высокого разрешения, полученных с беспилотных летательных аппаратов, был собран в осенний период. В осенний сезон хорошо прослеживается различие между лиственными и хвойными породами деревьев. Однако, стоит отметить, что есть и минусы при сборе данных в осенний период - сложность в классификации сухостоя и деревьев с опавшей листвой. Вследствие наличия этого недостатка необходимо найти лучший вариант предобработки изображений для их качественной разметки.

Работа со снимками высокого разрешения, полученных с БЛА, имеет и недостатки. Съемка происходит в видимом спектре. Соответственно, изображения получаем в стандартном формате RGB. Например, при работе с данными космических аппаратов, помимо трех каналов видимого спектра цветов, имеем доступ к каналу ИК-спектра, который регистрирует излучение тел [1]. В таком случае, мы теряем высокую точность съемки, но получаем возможность, путем отсечения каналов видимого спектра, выявить неживые объекты (усохшие деревья) на территории, так как по тепловому излучению они будут отличаться от объектов живой природы на снимках. При работе с данными БЛА приходится прибегать к различным вариантам цветокоррекции по каналам видимого спектра, которые при сравнении полученных данных на пробных площадях, помогут выбрать наиболее подходящий тип цветокоррекции.

Основными методами, применяемыми на этапе предобработки изображений, являются: нормализация данных, изменение размеров изображения, регулировка контраста и резкости, преобразование цветового пространства, аугментация данных. Предобработка данных для запуска нейросети, решающей задачу классификации по породам деревьев, показала, что наиболее точный результат получен за счет изменения цветового пространства и работы с контрастом изображений (рисунок 1).



Рис. 1. - Схема предобработки снимков БЛА для детекции единиц лесного массива

Таким образом, предобработка данных для реализации качественной разметки данных и более точного обучения по этим данным модели, заключалась в нескольких этапах.

Во-первых, исходное изображение (рисунок 2) подвергалось цветокоррекции.

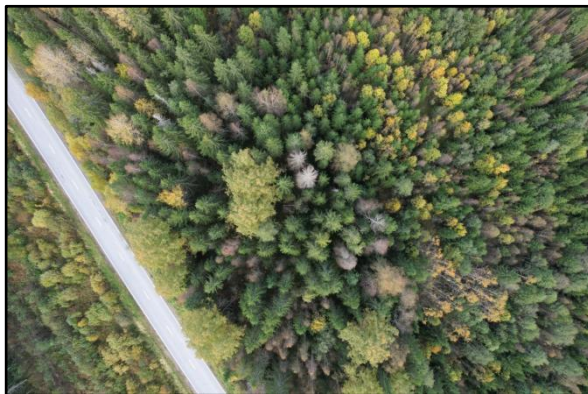


Рис. 2. - Изображение в естественных цветах

Нейросети часто работают с изображениями в формате RGB, но иногда полезно использовать другие представления цвета. Преобразование цветового пространства изображения проводилось с использованием библиотеки OpenCV. Данная библиотека популярна для обработки изображений, включающая множество функций для фильтрации, трансформации и улучшения качества изображений [2]. В ходе проверки различных вариантов цветокоррекции выявлено, что перевод изображения в оттенки серого или уменьшение количества каналов не дают хороших результатов, которые помогли бы проводить наиболее точное детектирование сухостоя (рисунок 3). Перевод исходного изображения в формате RGB в формат HSV (преобразование цветов в пространство оттенка-насыщенности-яркости) дает хорошее разделение в плане хвойной и лиственной растительности (рисунок 4а). Но даже при такой цветокоррекции не удастся выделить по цветовому признаку сухостой. При более детальной обработке изображения в формате HSV была предпринята попытка изменения диапозона насыщенности зеленой части спектра. Исходный снимок с применением цветокоррекции в формат HSV с коррекцией зеленой цветовой области показал лучший результат по детектированию сухостоя (рисунок 4б).

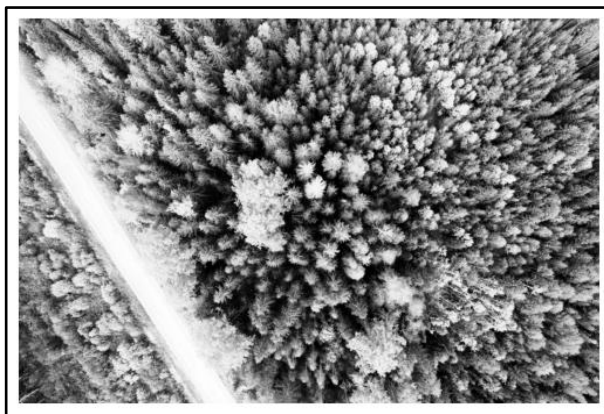
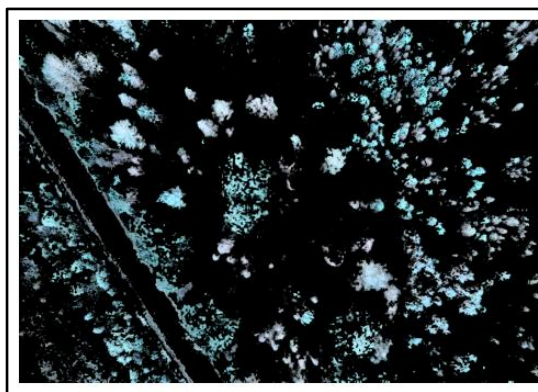
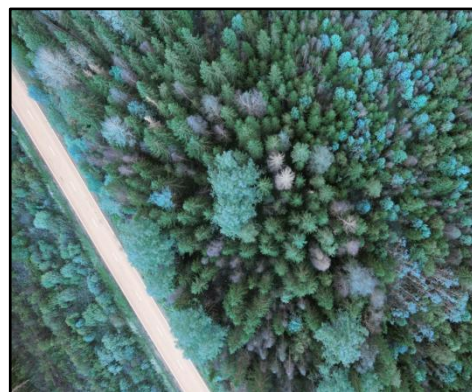


Рис. 3. - Изображение в оттенках серого цвета



а)



б)

Рис. 4. - Изображение в формате HSV а) естественный формат HSV, б) формат HSV с коррекцией зеленого спектра

Во-вторых, для точного определения границ каждой единицы лесного массива после цветокоррекции проведена операция по улучшению резкости (рисунок 5). Применение различных фильтров может помочь улучшить качество изображения и подчеркнуть важные особенности на снимке [3].



Рис. 5. - Изображение в формате HSV с усилением резкости

На заключительных этапах, после того как разметка изображений проведена, производилось изменение размеров изображения методом кадрирования и аугментация данных методом изменения геометрии изображения. Часто требуется изменить размер изображения перед подачей его в модель. Это делается для уменьшения вычислительной сложности и ускорения процесса обучения. Аугментация помогает увеличить объем обучающего набора, так как получить большое количество снимков определенной территории с БЛА и дальнейшая их разметка достаточно трудоемки.

Правильная предобработка изображений играет ключевую роль в успешном обучении нейронных сетей. Выбор подходящих методов зависит от конкретной задачи и особенностей данных. Использование комбинаций этих методов позволяет значительно улучшить качество и производительность моделей, делая их более точными и устойчивыми к изменениям входных данных.

Библиографический список

1. Лурье И. К. Геоинформационное картографирование. Методы геоинформатики и цифровой обработки космических снимков: Учебник для вузов. 2-е изд. – М.: КДУ, 2010.
2. Liu G.R. Machine learning with Python. Theory and Applications. - World Scientific, 2023. - p.585
3. Элбон К. Машинное обучение с использованием Python. Сборник рецептов. - СПб: “БХВ-Петербург”, 2019. - с.148

Н.В. Меламед, кандидат технических наук, доцент
Кафедра информационных систем и технологий
СПбГЛТУ имени С.М. Кирова
natali@melamed.su

Н. В. Добровольский, студент
Кафедра информационных систем и технологий
СПбГЛТУ имени С.М. Кирова
ya.xelaq@yandex.ru

ОБЗОР СИСТЕМ И ПОДХОДОВ СЕТЕВОГО МОНИТОРИНГА

OVERVIEW OF NETWORK MONITORING SYSTEMS AND APPROACHES

***Аннотация:** статья исследует современные подходы и решения для мониторинга сетевой инфраструктуры, включая классификацию*

систем мониторинга (программные, аппаратные, облачные и локальные решения). Рассматриваются ключевые инструменты мониторинга, такие как SCOM, Zabbix, Nagios, Cacti, а также системы для анализа сетевого трафика.

Abstract: *the paper investigates modern approaches and solutions for network infrastructure monitoring, including classification of monitoring systems (software, hardware, cloud and on-premises solutions). Key monitoring tools such as SCOM, Zabbix, Nagios, Cacti, as well as systems for analyzing network traffic are considered.*

Ключевые слова: *сетевой мониторинг, сетевой трафик, DPI, TAP. анализ сетевого трафика; глубокий анализ пакетов; инструменты мониторинга.*

Keywords: *network monitoring, network traffic, DPI, TAP. network traffic analysis; deep packet analysis; monitoring tools.*

Введение

Появившись сравнительно недавно, в конце 60-х годов, компьютерные сети прочно вошли в жизнь и широко используются для передачи различной информации. Компьютерная сеть в общем случае представляет собой совокупность автономных компьютеров, связанных между собой единой технологией. Основными аппаратными компонентами (или узлами) компьютерной сети являются мосты, коммутаторы, маршрутизаторы и т. д. Эти компоненты подключаются через проводную среду (оптические волокна, коаксиальные кабели и т. д.) или беспроводную среду (WLAN, микроволновая печь, инфракрасный порт и т. д.). В зависимости от масштаба сети компьютерные сети можно разделить на персональную сеть (PAN), локальную сеть (LAN), городскую сеть (MAN), глобальную сеть (WAN), магистральную сеть и Интернет.

Локальные и глобальные сети продолжают развиваться, возникают новые протоколы передачи данных, расширяются аппаратные возможности сетевого оборудования, растет число подключенных абонентов и суммарный объем трафика. Ключевыми тенденциями при этом остаются процессы интеграции компьютерных сетей и сетей связи, появление распределенных гетерогенных информационно-телекоммуникационных сетей (ИТКС) различного масштаба [1], характеризующихся широким внедрением и применением информационных технологий на базе концепции «Индустрия 4.0» (интернет вещей, «умный город», «умный дом», «умное производство» и пр.), обеспечивающих пользователям предоставление различных инфокоммуникационных услуг на основе стека протоколов TCP/IP, с использованием сетей нового поколения NGN (Next Generation Networks), ядро которых составляют пакетные сети [2].

Структура передаваемой информации, которая создается и используется многочисленными пользователями персональных компьютеров, смартфонов, планшетов, телевизоров, бытовой техникой также существен-

но усложнилась. По данным ежегодных отчетов компании Sandvine [3] источником более 60% трафика служат мультимедиа приложения потокового аудио и видео (рисунок 1). Как известно, трафик подобного рода наиболее чувствителен к задержкам в передаче пакетов [4]. Так, при передаче голосовых данных критичной становится задержка более 10 мс, для потокового видео задержка не должна превышать 100 мс. Таким образом, предъявляются повышенные требования к сетям передачи данных, алгоритмам управления трафиком и, в частности, к методам борьбы с перегрузками

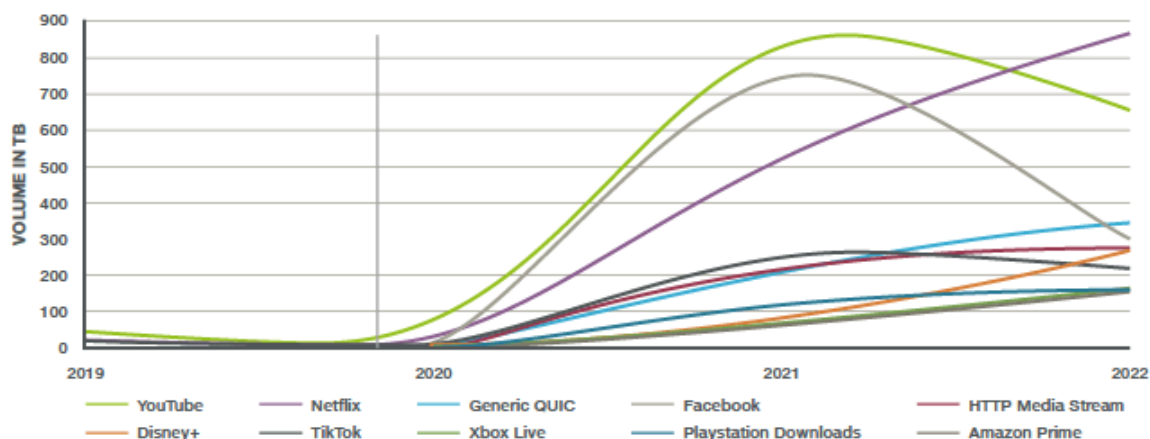


Рис. 1. - Объем трафика, отчет Sandvine, 2023

В современных сложных сетях IT-специалистам для обеспечения их безопасности и надежности чрезвычайно важно иметь в своем распоряжении набор механизмов, позволяющий не только получать информацию о мгновенном состоянии сети, но и иметь возможность делать прогнозы о тенденциях ее развития. Мониторинг в сетях любого масштаба необходим для того, чтобы системные администраторы были оповещены раньше или хотя бы одновременно с пользователями об отказах и проблемах в сетевой инфраструктуре. Поэтому, мониторинг сети – это актуальная, критически важная задача, позволяющая выявлять аномалии, предотвращать инциденты и защищать данные от утечек с помощью инструментов анализа трафика [5].

Основная задача системы мониторинга состоит в оперативном событийном уведомлении лица, принимающего решение (ЛПР), или оператора подсистемы мониторинга КС, об изменении ее состояния. Как правило, в конечной интерпретации ЛПР таких состояний всего два «норма» – сетевой элемент выполняет свои функции и «авария» – сетевой элемент не может выполнять свои функции. Остальные состояния служат для уведомления ЛПР о направлении динамики процесса – от «нормы» к «аварии» и от «аварии» к «норме» [6].

Цель данного обзора – выяснить, какие задачи анализа сетевого трафика способны решать существующие зарубежные и отечественные (как свободно распространяемые, так и коммерческие) инструменты, насколько расширяема их функциональность.

Общая архитектура сетевого мониторинга

Мониторинг сети может быть активным или пассивным. Пассивный мониторинг сети считывает данные из линии передачи, не влияя на трафик. Активный мониторинг сети добавляет возможность изменять данные в линии передачи [7].

Пассивный сетевой мониторинг существует в нескольких формах. Базовый мониторинг может быть удобен для ручной оценки, поскольку объем отслеживаемых и генерируемых данных невелик. Мониторинг всевозможных параметров сети и ее трафике сопряжен с соответствующими трудностями; информация о сбоях и злоумышленниках собирается, но информации так много, что она теряется. Кроме того, чем больше данных собирается, тем более технологичными становятся требования к их сохранению и обработке. Таким образом, различные способы сетевого мониторинга конкурируют друг с другом, поскольку каждый из них имеет свои преимущества и предназначен для различных целей, сред и пользователей [5]. На рисунке 2 показана общая архитектура сетевого мониторинга.

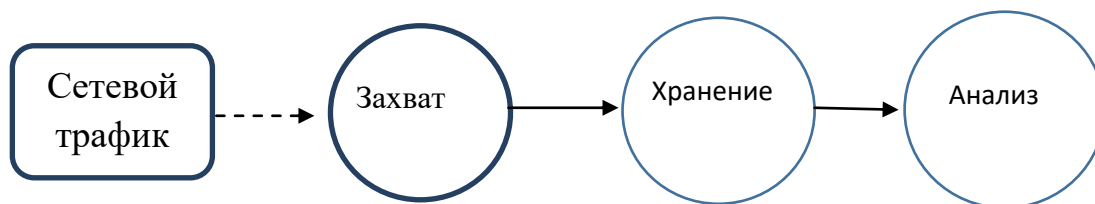


Рис. 2. - Общая архитектура сетевого мониторинга

Процесс сетевого мониторинга состоит из двух основных этапов: дублирования трафика и анализа трафика.

Все виды мониторинга сетевого трафика имеют одно общее свойство: трафик из сети дублируется, чтобы можно было проанализировать копию. Дублирование может осуществляться в одном из двух режимов: inline или зеркальном отображении. В случае inline дублирования устройство дублирования трафика встроено в сеть передачи данных. В режиме зеркального отображения же функция дублирования встроена в маршрутизатор или коммутатор. Существует несколько способов зеркалирования трафика: зеркалирование портов, TAP и настройка, подобная TAP, с использованием обходных сетевых адаптеров (NIC). Рассмотрим подробнее эти способы.

1) Зеркалирование портов — это функция, обычно доступная в корпоративных сетевых коммутаторах и маршрутизаторах. Трафик, проходящий через выбранные порты коммутатора или маршрутизатора, зеркально отражается на другой выбранный порт. Порт, используемый для вывода дублированного трафика, обычно называется зеркальным портом или SPAN-портом (анализатор коммутируемых портов). На рисунке 3 показан принцип зеркалирования портов. Оба направления контролируемого канала передаются в одном направлении через зеркальный порт.

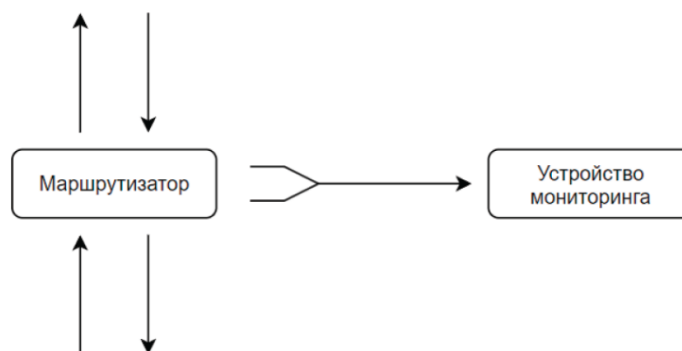


Рис. 3. - Общая архитектура сетевого мониторинга

У зеркальных портов есть два недостатка. Во-первых, если суммарная пропускная способность трафика превышает возможности зеркального порта, зеркальный порт становится перегруженным и отбрасывает пакеты. Во-вторых, большинство коммутаторов не обладают достаточной вычислительной мощностью для выполнения как коммутации, так и зеркального отображения. Основная функция коммутатора является приоритетной, и зеркальное отображение может работать некорректно в периоды пиковой загрузки.

2) **Сетевой тест-порт (ТАР)** — это устройство для перехвата пакетов, расположенное в режиме inline, поскольку линия передачи физически разделена. Устройство ТАР подключается между разделенными частями линии, и трафик дублируется. Отдельные отводы дублируют трафик на один выход, состоящий из двух физических портов как для нисходящей, так и для восходящей линии полнодуплексного соединения. Существует три типа подключений: медные, оптоволоконные и виртуальные. На рисунке 4 показано зеркалирование трафика с использованием порта тестового доступа. Оба направления контролируемой линии связи передаются отдельно.

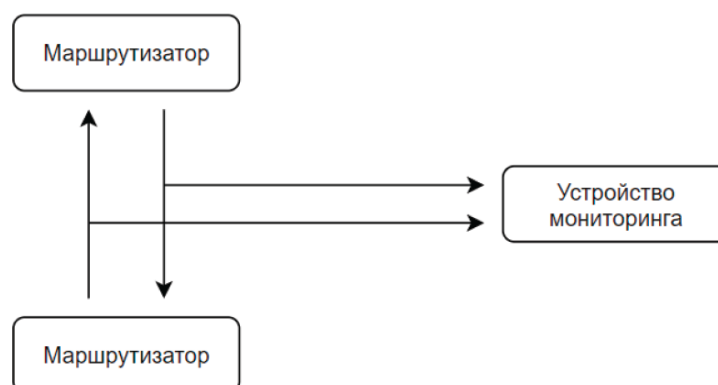


Рис. 4. - Зеркалирование трафика с использованием ТАР

3) **Настройка по принципу ТАР с использованием обходной сетевой карты (NIC)** объединяет зеркалирование трафика и его анализ. Как показано на рисунке 5, наблюдаемая линия разделена. Оба конца разде-

ленной линии подключены к двум сетевым интерфейсам. Сетевой адаптер установлен на компьютере. Интерфейсы программно сконфигурированы как сетевой мост, что позволяет разделенной линии по-прежнему функционировать должным образом. Пропуск трафика через компьютер позволяет осуществлять наблюдение за трафиком. Эта настройка выполняется в режиме inline, аналогично TAP.

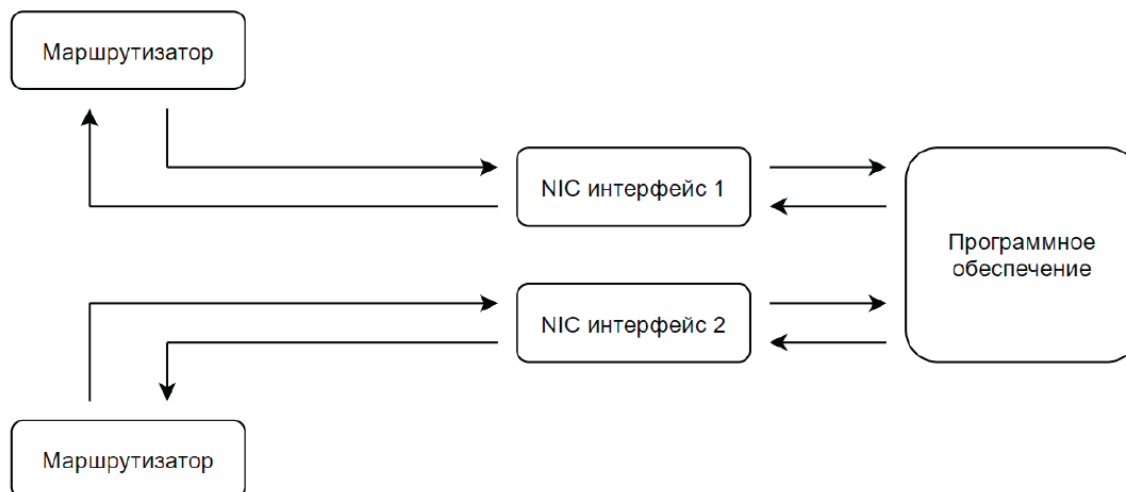


Рис. 5. - Inline мониторинг с использованием двух интерфейсов NIC

Другой способ — перехват пакетов. Он имеет три значения. Во-первых, это интерактивный подход к мониторингу сети. Во-вторых, функция перехвата пакетов представляет собой файл трассировки пакетов. В-третьих, это процесс перехвата пакетов по сетевому каналу. Запись может быть сохранена в файл или считана непосредственно анализатором сетевого трафика в режиме реального времени [5].

Направления развития технологий анализа сетевого трафика

Можно выделить два основных направлений развития.

- Рост «глубины» анализа для отдельного сетевого пакета, то есть увеличение уровня модели OSI, данные которого подвергаются анализу.
- Полнота учёта состояния потока, к которому относится пакет, а также других потоков, связанных с данным [8-9].

Технологии анализа трафика развивались последовательно, каждая последующая наследовала часть предыдущих механизмов и добавляла свои. Можно выделить три уровня развития технологии: поверхностный анализ пакетов (SPI), средний анализ пакетов (MPI) и глубокий анализ пакетов (DPI). В табл. 1 показана взаимосвязь уровней развития с моделью OSI.

Уровни развития технологии анализа сетевого трафика по «глубине»

	<i>Модель OSI</i>	Примеры: протоколы и форматы данных	Глубокий анализ пакетов (Deep Packet Inspection. DPI)	Средний анализ пакетов (Medium Packet Inspection. MPI)	Поверхностный анализ пакетов (Shallow Packet Inspection, SPI)
7	Прикладной уровень	HTTPS, FTP, SMTP			
6	Уровень представления	JPEG, MPEG, MOV, HTML			
5	Сеансовый уровень	Appletalk, Winsock			
4	Транспортный уровень	TCP, UDP, SPX			
3	Сетевой уровень	IP, ICMP, IPX (маршрутизатор)			
2	Канальный уровень	Ethernet, MPLS, ATM (коммутатор/мост)			
1	Физический уровень	Ethernet, Token ring, SONET/SDH (репитер)			

Поверхностный анализ пакетов (SPI). Технология анализа трафика, основывающаяся исключительно на заголовках пакета уровней L1-L3 по модели OSI. Предъявляет низкие требования к вычислительным ресурсам, что позволяет анализировать большие объёмы трафика. Технология широко распространена, на её основе работает большинство межсетевых экранов операционных систем, маршрутизаторов и других сетевых устройств. На её основе реализованы сетевые списки контроля доступа на уровне IP адресов и портов (Access Control List, ACL). Таким образом, данная технология хорошо подходит для разграничения доступа извне к отдельным компьютерам (IP) и сервисам (порты) внутренней сети.

Средний анализ пакетов (MPI). Технология анализа трафика, основывающаяся на инспектировании сессий и сеансов связи, инициированных приложением, но устанавливаемых шлюзом посредником. В рамках данной технологии содержимое пакетов анализируется частично и по predetermined правилам. Не используются сложные методы анализа типа сигнатурного. Устройства, реализующие данный функционал размещаются между провайдером интернета и конечным пользователем. Данные устройства разбирают заголовки вплоть до транспортного уровня и небольшую часть данных пакета для сопоставления разобранных частей с некоторым списком разбора (parse list), с последующей реакцией в случае их об-

наружения. Данная технология более гибкая в сравнении с SPI и, помимо разграничения доступа, подходит для большего числа задач — кэширование содержимого, анализ сжатого/шифрованного трафика, ограничение функционала отдельных протоколов путём запрета отдельных команд. Основной недостаток MPI — плохая масштабируемость: каждая команда и протокол требуют отдельного «шлюза» (входной-выходной порты). Кроме того, работа в режиме прокси сильно снижает скорость обработки.

Глубокий анализ пакетов (DPI). В рамках данного подхода анализатор просматривает содержимое каждого пакета полностью. Одним из важных отличий от предыдущих технологий является то, что системы на базе DPI могут принимать решение не только по содержимому пакетов, но и по косвенным признакам, присущим каким-то определённым сетевым программам и протоколам. Для этого может использоваться статистический анализ. Например, анализ частоты встречи определённых символов, длин пакетов, расстояние между метками времени последовательных пакетов и т.д. Также, по сравнению с предыдущими подходами, значительно расширен список применений технологии: классификация, ограничение полосы, приоритезация, маркировка, кэширование и т. д. Технология DPI получила развитие, прежде всего, из-за стремительного роста вычислительных способностей процессоров, их быстродействия и, соответственно, возможностей для более полного и точного анализа сетевых данных.

Стохастический анализ пакетов. (SPI, Stochastic packet inspection). В рамках данного подхода для классификации пакетов изучают статистические свойства их содержимого [8].

Инструменты мониторинга ИТ-средах

Мониторинг сетевой инфраструктуры опирается на различные инструменты, которые помогают обеспечивать стабильность и безопасность сетевых ресурсов.

В настоящее же время практически любая система мониторинга реализует модель FCAPS [10], включающую пять основных «функциональных проекций» систем управления и систем мониторинга: управление отказами (Faults); управление конфигурацией (Configuration); управление ресурсами (Accounting); управление производительностью (Performance); управление безопасностью (Security). Появилось множество полу- и полностью автоматизированных систем мониторинга, анализирующих техническое состояние сетевых элементов и отдельных сетей, осуществляющих сбор информации по контролируемым параметрам и вероятностно-временным характеристикам во временные ряды, удобные для визуализации диаграммы, таблицы и графики, которые при необходимости (в случае аномалии) можно анализировать.

Среди основных функций существующих систем мониторинга можно выделить следующие:

- *слежение* – основная функция, включающая в себя периодический сбор показателей с узлов оборудования, сервисов и т. п.;

– *хранение информации* (дополнение к слежению). Осуществляется сбор информации по основным показателям каждого объекта мониторинга. Для хранения обычно используются БД;

– *построение отчётов* – осуществляется как на основе текущих данных слежения, так и по долговременно хранимой информации. Например, долговременный мониторинг нагрузки на сервер может предупредить, что потребляемые ресурсы всё время увеличиваются, значит необходимо увеличить доступные средства или перенести часть задач на другой сервер, выбор которого тоже можно осуществить на основе долговременного отчёта;

– *визуализация* – отчёты в визуальном представлении в виде графиков, диаграмм и подсказок способствуют восприятию измерительной информации ЛПР, при этом возможен выбор для визуализации нескольких важных метрик, тогда как в отчётах будут представлены все показатели;

– *поиск «узких мест»* – на основе анализа данных мониторинга можно узнать, в каком месте инфраструктуры сети наиболее сильно снижаются общие показатели производительности;

– *автоматизация сценариев* – функция освобождает администратора от рутинных задач.

К наиболее популярным зарубежным решениям можно отнести – SCOM, Zabbix, Nagios, Cacti, OSS, Amazon CloudWatch [11-14] и др. Российский рынок NTA сейчас находится на стадии развития. К соответствующему классу можно отнести следующие продукты отечественных разработчиков: PT Network Attack Discovery (Positive Technologies); Threat Detection System (Group-IB); Kaspersky Anti Targeted Attack («Лаборатория Касперского»); «Гарда Монитор» («Гарда Технологии») [15].

Так, Zabbix [12] – свободно распространяемая система для проведения комплексного мониторинга сетевого оборудования, серверов и сервисов, состоящая из элементов: сервер мониторинга (ядро), прокси, агент, web-интерфейс.

С помощью Zabbix обычно осуществляют распределённый мониторинг до 1000 узлов, где конфигурация младших узлов в иерархии контролируется старшими. Также продукт включает централизованный мониторинг лог-файлов. При этом имеется возможность создавать вручную по шаблону карты сетей, выполнять запросы в различные БД, генерировать отчёты и выявлять тенденции изменения метрик, выполнять сценарии на основе результатов мониторинга, поддерживать интеллектуальный интерфейс управления платформами (IPMI). На рисунке 6 показан вариант карты сетей в Zabbix.



Рис.6. Вариант карты сетей в Zabbix

В качестве преимуществ Zabbix можно выделить то, что она позволяет осуществлять: автоматическое обнаружение IP-адресов по диапазону; доступные сервисы; проведение SNMP проверок; автоматическое удаление отсутствующих хостов и автоматический мониторинг обнаруженных сетевых устройств с распределением их по шаблонам и группам и др.

В качестве недостатков Zabbix стоит отметить: громоздкость сервиса; отсутствие полной документированности возможностей; необходимость установки Zabbix-агентов на все машины, сложность делегирования прав.

В табл. 2 [6] показано место этих систем относительно реализации модели функциональной безопасности сети (FCAPS)

Таблица 2

Место систем мониторинга относительно FCAPS

Системы мониторинга	Функции модели управления ИТКС (F-C-A-P-S)				
	(F) Fault Management / Управление отказами	C) Configuration Management / Управление конфигурацией	(A) Accounting Management / Учёт	(P) Performance Management / Управление производительностью	(S) Security Management / Управление безопасностью
System Center Operations Manager (SCOM)	+/- (мониторинг сервисов)	+ (управление конфигурацией сервисов)	+ (учет сервисов)	+	+
Zabbix	+	+/- (только устройства и сервисы)	+	+	-

Nagios (Linux)	+	-	+/-	+	-
Cacti	– (только сбор данных)	-	+ (без об-работки)	+	-
Prometheus	+	-	+	+	-
OpenNMS	+	+	+	+	-

Таблица 2 (продолжение)

Системы мониторинга	Функции системы мониторинга			
	Мониторинг устройств	Мониторинг соединений	Мониторинг сетей	Мониторинг сервисов
System Center Operations Manager (SCOM)	-	-	-	+
Zabbix	+	+/- (отсутствует понятие канала)	+/-	+
Nagios (Linux)	+	+/- (отсутствует понятие канала)		+
Cacti	+	+/-	+/-	+
Prometheus	+	-	-	+
OpenNMS	+	+/-	+/-	-

Заключение

Мониторинг сетевой инфраструктуры играет ключевую роль в обеспечении безопасности и стабильности сетевых систем, особенно в условиях стремительного развития технологий и увеличения объемов данных.

Анализ рынка показал рост потребности в детальном анализе сетевого трафика, что подчеркивает важность таких систем для надежности инфраструктуры. Развитие технологий, включая искусственный интеллект и машинное обучение, открывает новые возможности для улучшения мониторинга. В условиях быстрого изменения технологий мониторинг становится не просто необходимостью, а важной частью стратегического управления информационными ресурсами организаций.

Библиографический список

1. Будко П. А., Кулешов И. А., Курносков В. И., Мирошников В. И. Информационные сети: энциклопедия. Книга 4. Гетерогенные сети связи: принципы построения, методы синтеза, эффективность, цена, качество /под ред. проф. В. И. Мирошникова. – М.: Наука, 2020. – 683 с.
2. Будко П. А. Управление ресурсами информационно телекоммуникационных систем. Методы оптимизации. Монография. – СПб.: ВАС, 2012. – 512 с.

3. Sandvine Global Internet Phenomena Report, 1H 2024 [Электронный ресурс]. – 2014. – Режим доступа: https://www.applogicnetworks.com/hubfs/Sandvine_Redesign_2019/Downloads/2024/GIPR/GIPR%202024.pdf
4. Абросимов Л.И., Трущенко М.А. Исследование характеристик видеотрафика – Режим доступа: <https://network-journal.mpei.ac.ru/ru/1/6/1/article.htm> (дата обращения 25.12.2024)
5. Клычков, И. А. Способы мониторинга компьютерных сетей / И. А. Клычков // Молодой ученый. — 2024. — № 19 (518). — С. 13-18. — URL: <https://moluch.ru/archive/518/114032/> (дата обращения: 21.01.2025).
6. Аллакин В., Будко Н. П., Васильев Н. В. Общий подход к построению перспективных систем мониторинга распределенных информационно-телекоммуникационных сетей // Системы управления, связи и безопасности. 2021. №4. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/obschiy-podhod-k-postroeniyu-perspektivnyh-sistem-monitoringa-raspredelennyh-informatsionno-telekommunikatsionnyh-setey> (дата обращения: 04.02.2025).
7. Les, Cottrell Passive vs. Active Monitoring / Cottrell Les. — Текст: электронный // Stanford Linear Accelerator Center: [сайт]. — URL: slac.stanford.edu/comp/net/wan-mon/passive-vs-active.html (дата обращения: 02.12.2024).
8. Гетьман А. И., Маркин Ю. В., Евстропов Е. Ф., Обыденков Д. О. Обзор задач и методов их решения в области классификации сетевого трафика // Труды ИСП РАН. 2017. №3. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/obzor-zadach-i-metodov-ih-resheniya-v-oblasti-klassifikatsii-setevogo-trafika> (дата обращения: 15.01.2025).
9. Гетьман А. И., Маркин Ю. В., Обыденков Д. О., Падарян В. А., Тихонов А. Ю. Подходы к представлению результатов анализа сетевого трафика // Труды ИСП РАН. 2016. №6. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/podhody-k-predstavleniyu-rezultatov-analiza-setevogo-trafika> (дата обращения: 16.01.2025).
10. ISO/IEC 7498-4: Sistemy obrabotki informacii – Vzaimnoe soedinenie ot-krytyh sistem – Bazovaya spravoch'naya model' – Chast' 4: Sistema upravleniya [Information processing systems-Interconnection of open systems-Basic reference model-Part 4: Control system]. Available at: <http://ru.knowledgr.com/00402798/FCAPS>
11. TechNet Magazine: System Center Operations Manager 2012: Простота расширения возможностей мониторинга. – URL: <http://technet.microsoft.com>
12. Vacche A. D., Lee S. K. Zabbix Mastering. Packt Publ., 2013. 358 p
13. Nagios: отраслевой стандарт мониторинга ИТ-инфраструктуры. – URL: <https://www.nagios.org/>
14. XGU: Cacti. – URL: <http://xgu.ru>
15. <https://catalog.arppsoft.ru/section/6085489>

В.А. Миронов, студент
Кафедра информационных систем и технологий
СПбГЛТУ имени С.М. Кирова
bah91924@mail.ru
Научный руководитель: Кузин П.И.
к.т.н., доцент кафедры ИСиТ СПбГЛТУ

ПОДГОТОВКА ЭЛЕКТРОННОГО ПРИЛОЖЕНИЯ В ВИДЕ ПРОГРАММНО-МЕТОДИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА

PREPARATION OF AN ELECTRONIC APPLICATION IN THE FORM OF A SOFTWARE AND METHODOLOGICAL COMPLEX

Аннотация: в статье рассматривается разработка электронного приложения к учебному пособию (программно-методического комплекса) в виде мобильного приложения для интерактивного обучения на языке Kotlin, предназначенного для изучения дисциплины «Системное и прикладное программирование». Главной особенностью приложения является интеграция искусственного интеллекта, позволяющее персонализировать обучение и повысить эффективность.

Abstract: the article deals with the development of an electronic application to the textbook (software and methodological complex) in the form of a mobile application for interactive learning in the Kotlin language, designed for the study of the discipline “System and Application Programming”. The main feature of the application is the integration of artificial intelligence, allowing to personalize learning and increase efficiency.

Ключевые слова: мобильное приложение, образовательный процесс, инновационные технологии, цифровизация образования, учебное пособие.

Key words: mobile application, educational process, innovative technologies, digitalization of education, tutorial.

Введение

Современные образовательные процессы требуют внедрения инновационных технологий, обеспечивающих гибкость и доступность обучения. Особую актуальность это приобретает в условиях цифровизации образования, где мобильные приложения становятся ключевым инструментом для студентов.

Задача

Несмотря на широкое использование мобильных устройств, многие студенты сталкиваются с трудностями при адаптации к новым образовательным платформам, а именно к цифровым учебным пособиям. Основные

проблемы включают сложность навигации, недостаточную интерактивность и отсутствие индивидуального подхода.

Решение

Решением может стать внедрение искусственного интеллекта (ИИ), который анализирует поведение пользователя, адаптирует контент под его уровень знаний и предоставляет рекомендации. Например, студенты, испытывающие трудности с определенными темами, получают дополнительные материалы, а продвинутые пользователи задачи повышенной сложности.

Проектирование приложения «Java с нуля до Junior». Приложение разрабатывается на базе кроссплатформенного, объектно-ориентированного языка программирования Kotlin, с учетом требований к интерактивности и доступности [1, 2]. Главный экран приложения реализует следующие инновационные функции, (рисунок 1).

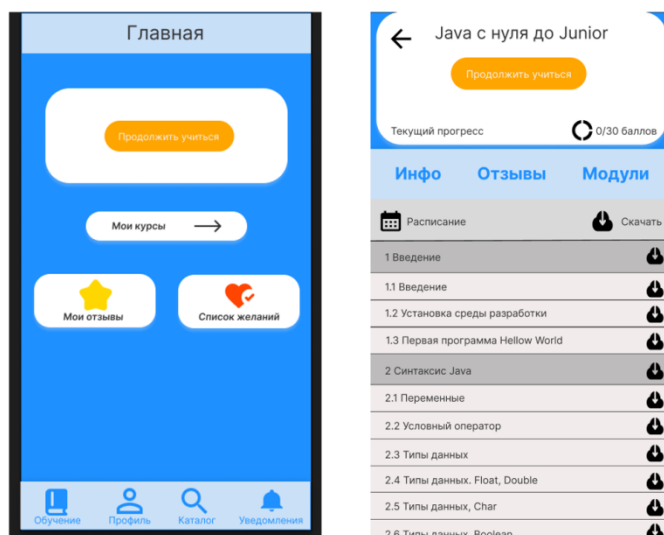


Рис. 1. - Интерфейс приложения «Java с нуля до Junior» и экран обучения

Адаптивная навигация: раздел «Продолжить учиться» автоматически предлагает тему, соответствующую текущему прогрессу пользователя; вкладка «Каталог» использует теги и фильтры (сложность, тип материала), что упрощает поиск контента.

Интерактивные элементы обучения: мини-игры, решение задач программирования в формате «исправь ошибку в коде».

Виртуальный помощник: чат-бот на базе ИИ, отвечающий на вопросы по теме и дающий подсказки.

Персонализация профиля: пользователи могут настраивать цели обучения (например, «изучить объектно-ориентированное программирование за 2 недели»), а приложение формирует индивидуальный график.

Визуализация прогресса: графики и диаграммы, отражающие успехи по темам, времени обучения и количеству решенных задач.

Интеграция с внешними ресурсами: кнопка «Дополнительные материалы» перенаправляет на статьи, видео с YouTube или GitHub - репозитории, рекомендованные ИИ.

Экспорт заданий: возможность сохранить задачи в формате PDF или поделиться ими через мессенджеры.

Обратная связь в реальном времени: приложение анализирует ошибки в тестах и сразу предлагает пояснения, ссылаясь на разделы теории.

Система уведомлений: напоминает о повторении пройденного материала на основе кривой забывания Эббингауза.

Элементы интерфейса: заголовок курса, название: «Java с нуля до Junior» отражает тематику курса, связанную с системным программированием, как указано в статье.

Прогресс обучения: строка «Текущий прогресс: 0/30 баллов» — система оценивания, интегрированная для мотивации пользователя.

Блок «Продолжить учиться»: рекомендация следующего шага в обучении (переход к разделу «Синтаксис Java»).

Навигационное меню: Инфо (описание курса). Отзывы (обратная связь от пользователей). Модули (структура курса).

Кнопки: расписание (индивидуальный график занятий), скачать (экспорт материалов для офлайн-использования).

Список модулей. Иерархическая структура уроков: основные разделы (например, «1. Введение», «2. Синтаксис Java»). Подразделы с нумерацией (1.1, 1.2 и т.д.), например, «Установка среды разработки», «Первая программа Hello World».

Визуальное оформление: минималистичный дизайн с четким разделением блоков. Акцент на контрастных элементах: синие кнопки, черный текст на белом фоне.

Использование ИИ в приложении. ИИ реализует следующие функции: анализ успеваемости: отслеживание времени, затраченного на темы, количество ошибок.

Рекомендательная система: предложение статей, видео и курсов из сторонних ресурсов. Генерация заданий: создание уникальных задач на основе пробелов в знаниях.

Заключение.

В таблице 1 представлены результаты сравнения с существующими образовательными платформами.

Таблица 1

Сравнение предлагаемого решения с существующими образовательными платформами

Платформа	Преимущества	Недостатки	Наше решение
Duolingo/Khan Academy	Геймификация, доступность	Поверхностная адаптация	Углубленный анализ пробелов в знаниях

Codecademy/LeetCode	Практические задачи	Платный контент, статичность	Бесплатный адаптивный контент
React Native/Flutter	Кроссплатформенность	Низкая производительность	Нативная разработка на Kotlin

По имеющимся данным можно утверждать, что использование мобильных приложений или подобных приложений в обучении может повысить эффективность образовательного процесса за счет реализации доступности, системного использования и инновационности.

Библиографический список

1. Основы создания приложений // Developers [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://developer.android.com/guide>. - Дата доступа: 11.12.2019.
2. Start Android: учебник по Android для начинающих и продвинутых // STARTANDROID [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://startandroid.ru/ru/>. - Дата доступа: 01.01.2020.

А.Д. Михалев, студент

Кафедра информационных систем и технологий
СПбГЛТУ им. С. М. Кирова
d2industry@mail.ru

С.Д. Михалева, студент

Кафедра информационных систем и технологий
СПбГЛТУ им. С. М. Кирова
pozdeeva260303@gmail.com

С. П. Хабаров, кандидат технических наук, доцент

Кафедра информационных систем и технологий
СПб ГЛТУ им. С.М.Кирова
serg.habarov@mail.ru

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ С ПОМОЩЬЮ НАИВНОГО БАЙЕСОВСКОГО КЛАССИФИКАТОРА В СРЕДЕ HUGIN LITE

FOREST FIRES FORECASTING USING NAIVE BAYES CLASSIFIER IN THE HUGIN LITE ENVIRONMENT

***Аннотация.** Лесные пожары — неконтролируемая чрезвычайная ситуация, которая наносит огромный ущерб окружающей среде. Поэтому существует необходимость в исследовании причин и послед-*

ствий данных стихийных бедствий. В статье продемонстрировано применение наивного байесовского классификатора в прогнозировании возникновения лесных пожаров. Разработанная модель в среде Hugin Lite показала высокое качество обучения сети и низкое количество ошибок алгоритма. С помощью представленного наивного байесовского классификатора возможно дальнейшее предсказание чрезвычайных ситуаций с вводом новых данных о состоянии экосистемы на текущий момент.

Abstract. Forest fires are uncontrollable emergencies that cause massive damage to the environment. Thus, exists a need to learn the causes and consequences of these natural disasters. This article demonstrates the application of a naive Bayes classifier in forest fires forecasting. The developed model in the Hugin Lite environment has shown high quality of network training and low algorithm error count. With the help of the presented naive Bayes classifier, it is possible to further predict emergency situations with the addition of new data on the current state of the ecosystem.

Ключевые слова: прогнозирование, лесные пожары, наивный байесовский классификатор, байесовская сеть, ROC кривая, Hugin Lite.

Keywords: forecasting, forest fires, naive Bayes classifier, Bayes network, ROC curve, Hugin Lite.

Байесовская сеть (БС) — это подход к построению вероятностных моделей с использованием ориентированных графов без циклов [1]. Свое широкое распространение БС получили благодаря возможности естественным образом совмещать выводимые из данных закономерности с экспертными знаниями, которые задаются в явном виде.

Одним из вариантов построения БС является наивно-байесовский подход, который является достаточно прозрачным и понятным методом классификации. Он базируется на том, что все переменные считаются одинаково важными, и все они являются статистически независимыми [2]. Одним из преимуществ наивного байесовского классификатора (НБК) является то, что ему нужно только оценить необходимые параметры (среднее значение и дисперсию переменных) на основе небольшого количества обучающих данных. Из-за предположения о независимых переменных требуется только метод оценки каждой переменной. Исходя из этого данный алгоритм распространен, например, в медицине [3] и телекоммуникациях [4].

Применение наивно-байесовского метода получило широкое распространение и в лесном хозяйстве. Так, исследователи в Пакистане разработали модель с использованием многовременных снимков Landsat и ряда алгоритмов: метод опорных векторов, НБК и логистическая регрессия [5]. Такая разработка помогла найти численные изменения площади лесов, а именно с 1990 по 2010 год она сократилась с 19 360 км² до 18 784 км², а в

период 2013 - 2017 площадь лесов увеличилась с 18 640 км² до 26 765 км² благодаря программе «One billion tree Project».

В России также наблюдается применение наивного байесовского классификатора. Например, для прогнозирования септориоза листьев пшеницы [6]. Предлагаемая система позволяет в интерактивном режиме настраивать расчетные параметры для методов, видеть полученные результаты и оценивать их эффективность.

Анализ методов восстановления лесной растительности по факторам среды [7], в котором сравнивались LDC-метод, метод k-ближайших соседей, сумма мер Дайса и НБК, показал, что наивно-байесовский метод предназначен для решения задач классификации в нечисловых факторных пространствах. Данный аспект является важным в анализе категориальных данных лесного хозяйства.

Лесные пожары представляют собой серьезную угрозу для лесов, уничтожая деревья и фауну, а также полезных функций экосистемы. Они создают условия для размножения вредителей и болезней, вызывают загрязнение атмосферы едким дымом и могут привести к человеческим жертвам [8]. Поэтому так важно исследовать лесные пожары и связанные с ними закономерности.

Цель исследования заключается в осуществлении алгоритма наивного байесовского классификатора для прогнозирования лесных пожаров.

Объект исследования — данные двух регионов Алжира, а именно региона Беджая, расположенного на северо-востоке Алжира, и региона Сиди-Бель-Аббес, расположенного на северо-западе Алжира. Охваченный период — с июня 2012 года по сентябрь 2012 года [9]. Таблица переменных базы данных представлена ниже.

Таблица 1

Состав базы данных «Лесные пожары в Алжире»

Имя переменной	Описание
Month	месяц наблюдения (с июня по сентябрь 2012 года)
Temperature	максимальная дневная температура (°C)
RH	относительная влажность воздуха (%)
Ws	скорость ветра (км/ч)
Rain	количество осадков (мм)
FFMC	индекс относительной влажности топлива
DMC	индекс относительной влажности топлива
DC	индекс кода засухи
ISI	индекс первоначального распространения
BUI	индекс распространения пожаров
FWI	индекс погодных условий для пожаров

Имя переменной	Описание
Classes	два класса, а именно «fire» и «not fire»

В рамках данной работы для построения наивного байесовского метода была выбрана среда Hugin Lite [10]. Это бесплатный продукт от Hugin Expert, позволяющий непосредственно в графическом интерфейсе строить наивные байесовские классификаторы и использовать их для дальнейшего прогнозирования состояний.

В диалоговом окне инструмента Learning Wizard был загружен датасет и автоматически определены узлы сети и связи между ними на основе анализа системы Hugin Lite исходного набора данных. Результат представлен на рисунке 1.

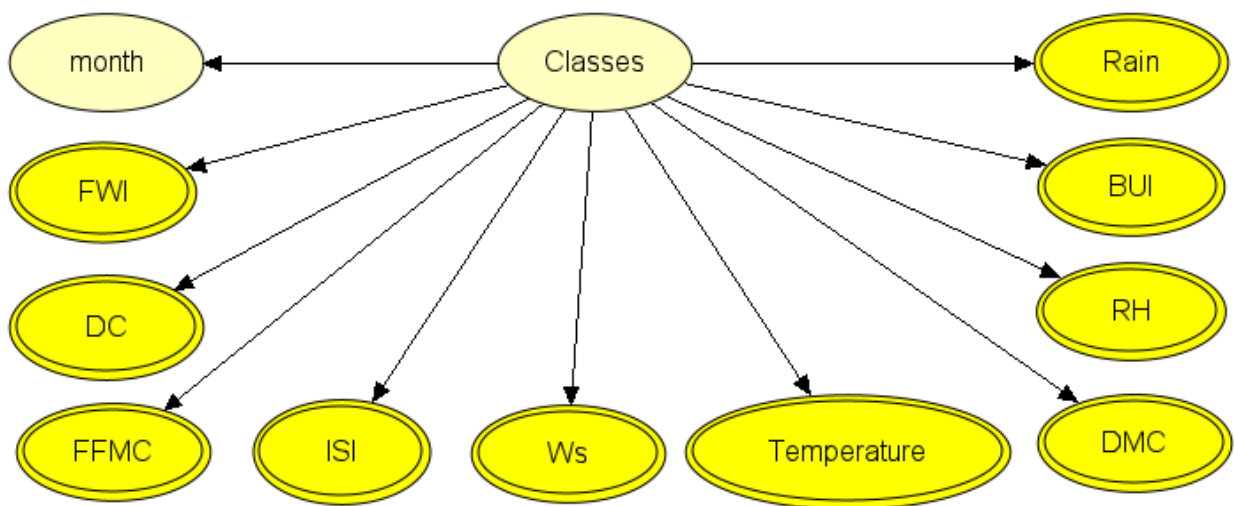


Рис. 1. - Структура НБК на основе данных «Лесные пожары в Алжире»

Для обучения подготовленной сети на исходном наборе данных была проведена начальная инициализация: создание для каждого из узлов сети таблиц априорных и условных вероятностей (рисунок 2).

FWI			FFMC			Temperature			BUI		
Classes	not fire	fire	Classes	not fire	fire	Classes	not fire	fire	Classes	not fire	fire
Mean	0.964151	11.723188	Mean	65.315094	87.544928	Mean	30.028302	33.818841	Mean	7.220755	23.934058
Variance	1.271464	46.245736	Variance	178.99977	11.181908	Variance	11.189668	8.558183	Variance	38.113279	206.28956
Experience	106	138	Experience	106	138	Experience	106	138	Experience	106	138
month			ISI			DMC			Rain		
Classes	not fire	fire	Classes	not fire	fire	Classes	not fire	fire	Classes	not fire	fire
6	0.231647	0.10555	Mean	1.277359	7.419565	Mean	6.446226	20.992754	Mean	1.624528	0.097101
7	0.176158	0.231813	Variance	0.589197	13.557498	Variance	29.459271	156.149	Variance	7.535774	0.294152
8	0.069986	0.418129	Experience	106	138	Experience	106	138	Experience	106	138
9	0.522209	0.244507	Ws			RH			Classes		
Experience	495.946	724.054	Classes	not fire	fire	Classes	not fire	fire	not fire	0.406513	
DC			Mean	15.716981	15.34058	Mean	69.311321	56.275362	fire	0.593487	
Classes	not fire	fire	Variance	11.233423	5.335713	Variance	149.74025	203.82143	Experience	1220	
Mean	21.790566	70.405072	Experience	106	138	Experience	106	138			
Variance	783.34943	2387.8755									

Рис. 2. - Таблицы априорных и условных вероятностей для всех узлов сети

В данном контексте значение Mean является средним квадратическим значением, полученным из датасета для каждого из параметров. Значение Variance определяет возможное отклонение от параметра Mean. Experience – параметр, рассчитывающийся исходя из количества наблюдений, где каждое дискретное значение добавляется к общей сумме наблюдений.

Обучение сети было произведено с помощью суб-команды EM-Learning Wizard, находящейся в главном меню (команда Wizards). Перевод классификатора Classes в таргет Classes_ в среде Hugin Lite осуществляется двойным нажатием на название и добавлением знака нижнего подчеркивания. После выбора в Run-View Model созданной модели НБК появляется возможность осуществления функции Configure Batch Propagation, в которой во вкладке Beliefs был выбран узел Classes и флажками отмечены их состояния: «fire» и «not fire». Таким образом, на рисунке 3 отображен результат произведенных действий.

#	Classes_	P(Classes=not fire)	P(Classes=fire)
0	not fire	1	9.27E-14
1	not fire	1	4.4E-16
2	not fire	1	5.73E-159
3	not fire	1	7.91E-76
4	not fire	1	2.23E-15
5	fire	0.96	0.04
6	fire	1.33E-16	1
7	fire	6.03E-13	1
8	not fire	1	1.89E-28
9	not fire	1	3.38E-8
10	fire	1.62E-6	1
11	fire	5.82E-10	1
12	not fire	1	5.14E-34
13	not fire	1	3.5E-21
14	not fire	1	1.01E-39

Рис. 3. - Значения уверенности алгоритма НБК

Полученные значения в колонках P(Classes=not fire) и P(Classes=fire) обозначают уверенности алгоритма в отнесении каждого наблюдения к соответствующему классу, где 1 – полная уверенность.

Из полученных значений были построены ROC кривые по возможным значениям таргета Classes_ (см. рисунок 4).

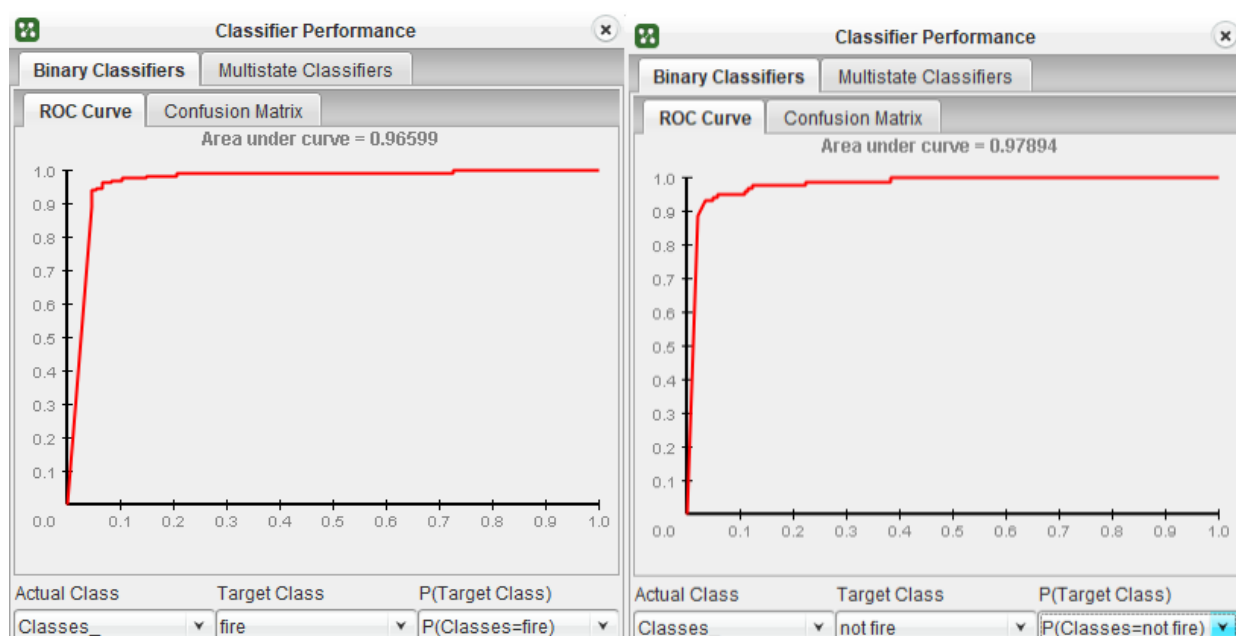


Рис. 4. - Графики ROC кривых для значений таргета

Показатели площади под кривыми, равные 0.96599 и 0.97894 для значений fire и not fire соответственно, обозначают высокое качество обу-

чения сети. На рисунке 5 отображена статистика обучения сети, где значение Error rate равно 5.33%.

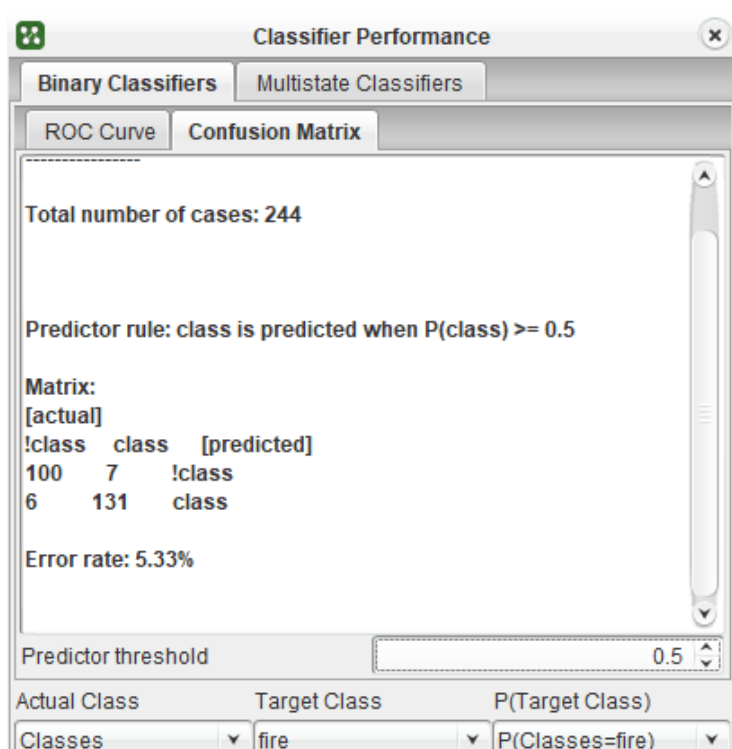


Рис. 5. - Матрица уверенности алгоритма НБК

В приведенной матрице уверенности представлено количество ошибок алгоритма НБК. Всего было обработано 244 наблюдения, из которых 7 и 6 были неверно классифицированы. Данные величины рассчитываются исходя из параметра Predictor threshold (в данном случае равному 0.5), определяющим порог распределения значений.

Таким образом, благодаря разработанному НБК в среде Hugin Lite на основе данных о лесных пожарах в Алжире имеется возможность предсказания чрезвычайных ситуаций с помощью ввода новых данных о состоянии экосистемы на текущий момент. Пожары – события, зависящие от многочисленного количества факторов, анализ которых слишком сложен для человека, даже если он является экспертом в этой области. Разработанная модель находит взаимосвязи в самых различных показателях экосистемы и с высокой точностью определяет вероятность возникновения лесного пожара.

Библиографический список

1. Judea Pearl. Probabilistic Reasoning in Intelligent Systems. - CA: Morgan Kaufmann, 1988.
2. Луис Энрике Сукар Вероятностные графовые модели. Принципы и приложения / пер. с англ. А. В. Снастина. - М.: ДМК Пресс, 2021. – 338 с.

3. H. Zhang, L. Ding, Y. Zou, et al., Predicting drug-induced liver injury in human with naïve Bayes classifier approach [J]. J. Comput. Aided Mol. Des. 30(10), 889–898 (2016).
4. S.C. Chu, T.K. Dao, J.S. Pan, et al., Identifying correctness data scheme for aggregating data in cluster heads of wireless sensor network based on naive Bayes classification [J]. EURASIP J. Wirel. Commun. Netw. 20(1), 963–982 (2020).
5. Tariq A. et al. Modelling, mapping and monitoring of forest cover changes, using support vector machine, kernel logistic regression and naive bayes tree models with optical remote sensing data //Heliyon. – 2023. – Т. 9. – №. 2.
6. Ибрагимов Т. З. Интеллектуальный анализ данных в цифровой фитосанитарии. – 2021.
7. Брижатая А. А., Кислов Д. Е. Сравнительный анализ методов восстановления лесной растительности по факторам среды //Бюллетень Ботанического сада института ДВО РАН. – 2009. – №. 3. – С. 112-120.
8. Методические указания по изучению дисциплины и выполнению контрольных работ для студентов всех форм обучения специальности 20.05.01 Пожарная безопасность по дисциплине «Лесные пожары и борьба с ними»: учебно-методические указания по самостоятельной работе по дисциплине «Лесные пожары и борьба с ними», для студентов всех форм обучения специальности 20.05.01 Пожарная безопасность – Солод С.А. – Майкоп: МГТУ, 2021. – 22 с.
9. Algerian Forest Fires [Электронный ресурс]. <https://archive.ics.uci.edu/dataset/547/algerian+forest+fires+dataset> (дата обращения: 15.12.2024).
10. HUGIN Lite [Электронный ресурс]. <https://www.hugin.com/hugin-lite/> (дата обращения: 16.12.2024).

С. Д. Михалева, студент
 Кафедра информационных систем и технологий
 СПбГЛТУ им. С. М. Кирова
 pozdeeva260303@gmail.com
М. Р. Вагизов, доктор технических наук, доцент
 Кафедра информационных систем и технологий
 СПбГЛТУ им. С.М. Кирова
 bars-tatarin@yandex.ru
И. И. Гайфуллин, эксперт лесного хозяйства
 Primenta.spb@icloud.com

ИЗУЧЕНИЕ МУХИНСКОГО БОЛОТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДЕШИФРИРОВАНИЯ ДАННЫХ КОСМИЧЕСКИХ СНИМКОВ

USAGE OF SPACE IMAGE DATA DECODING IN STUDYING THE MUKHINSKOYE SWAMP

Аннотация. В статье рассматривается методика изучения динамики трансформации болот на примере Мухинского болота. Представлены результаты сбора, анализа и визуализации информации о болоте для создания основы последующего детального изучения болотистой местности с использованием беспилотных летательных аппаратов. Проведено дешифрирование спутниковых снимков территории в среде QGIS, представляющие типы микроландшафтов Мухинского болота. Определены основные характеристики почвенного покрова, преобладающие породы и намечен план дальнейшего изучения болота. Полученные результаты послужат базой для проведения аэрофотосъемки с БЛА, обработки материалов и построения цифровых карт для оценки изменений растительности.

Abstract. This article discusses the methodology for studying the dynamics of swamp transformation using the example of the Mukhinskoye swamp. The results of collecting, analyzing and visualizing information about the swamp are presented to create the basis for subsequent detailed study of the swampy area using unmanned aerial vehicles. Satellite images of the territory were decoded in the QGIS environment, representing the types of microlandscapes of the Mukhinskoye swamp. Were determined the main characteristics of the soil cover and predominant species, and also was outlined a plan for further study of the swamp. Obtained results will serve as a basis for conducting aerial photography from UAVs, processing materials and constructing digital maps to assess changes in vegetation.

Ключевые слова: болото, дистанционное зондирование Земли (ДЗЗ), QGIS, беспилотные летательные аппараты (БЛА), дешифрирование, микроландшафты, растительность, Мухинское болото, глобальное потепление.

Keywords: swamp, remote sensing of the Earth (ERS), QGIS, unmanned aerial vehicles (UAV), decoding, microlandscapes, vegetation, Mukhinskoye swamp, global warming.

Заинтересованность в научном обществе к болотам имеет несколько причин. Во-первых, болота представляют собой уникальные экосистемы, играющие важную роль в поддержании биологического разнообразия и регуляции водного баланса. Они служат естественными водохранилищами, задерживая дождевые осадки и талые воды, тем самым предотвращая наводнения соседствующих территорий. Второй причиной является их состояние при глобальных климатических изменениях [1]. Болотистые местности подвергаются осушениям [2] или зарастаниям [3], поэтому существует потребность в изучении динамики трансформации болот.

Одним из способов изучения ландшафта болотистых территорий является их дешифрирование в геоинформационных системах. Например, ученые из Чили и Испании оценили потенциал использования спутниковых снимков высокого разрешения для классификации растительного покрова водно-болотных угодий с использованием подхода машинного обучения [4]. Два алгоритма машинного обучения, Support Vector Machine (SVM) и Random Forest (RF), были оценены и получены высокие результаты, достигая средней общей точности 88% для SVM и 90% для RF.

В Египте исследователи оценили потери болот на территории озера Буруллус [5] с использованием многоспектральных спутниковых снимков Landsat за период 1985–2020. Итоги работы показали, что наблюдается потеря болот в 44,8% из-за их осушения и преобразования водно-болотных угодий в сельскохозяйственные угодья и рыбоводческие хозяйства.

В России также наблюдается у ученых интерес к состоянию болот. Было рассмотрено изучение структуры и динамики геосистем лесов и болот южной части Западной Сибири с использованием ландшафтной карты [6], в ходе которого была разработана методика их геоинформационного картографирования в GISMultispec и QuantumGIS. Автоматизированная обработка космических снимков позволила не только определить ландшафтную структуру геосистем, но и рассчитать площади различных объектов: антропогенно-нарушенных территорий (вырубки, гари), соотношение лесных и болотных ландшафтов, а также рассчитать площади затопления в пойменных комплексах.

В Томской области специалисты представили результаты картографирования типов болотных комплексов на основе очищенных от влияния облаков временных рядов ежедневных данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) спутниковой системы MODIS [7]. Общая точность классификации составила 0,96, для отдельных типов болотных комплексов полнота их выделения варьирует в диапазоне от 0,66 до 0,99.

В мире действительно существует потребность в разработке методики изучения динамики трансформации болот в контексте глобального потепления. Одним из таких способов является обработка и анализ данных ДЗЗ.

Настоящая статья нацелена на сбор и анализ существующей информации исследуемого объекта, а также ее визуализация в QGIS. Уникальность исследования заключается в дополнительном визуальном дешифрировании космических снимков территории, что позволит создать основу для дальнейшего планирования более детальной оценки болотистой местности с использованием беспилотных летательных аппаратов.

Объектом исследования выступило Мухинское болото (рисунок 1), относящееся к Линдуловскому участковому лесничеству Роцинского лесничества Ленинградской области [8]. С запада болото граничит с железной дорогой и со всех сторон окружено садоводствами, в том числе частично занявшими его территорию.



Рис. 1. - Границы территории Мухинского болота

Представленный выше спутниковый снимок Yandex Satellite был загружен через модуль QGIS QuickMapServices [9].

По данным почвенно-географической базы данных России [10] исследуемая местность имеет такие характеристики почвы, которые представлены в таблице 1.

Таблица 1

Характеристики почвы Мухинского болота

Характеристика	Описание характеристики
Почвенный округ	Балтийско-Ладожский округ подзолов альфегумусовых и подзолов глеевых торфян(ист)ых песчаных и супесчаных, местами подстилаемых суглинками и глинами, на флювиогляциальных и озёрных отложениях
Почвенная провинция	Прибалтийская дерново-мелко- и неглубокоподзолистых и болотно-подзолистых почв
Почвенная зона (подзона)	Зона дерново-подзолистых почв южной тайги
Почвенно-биоклиматическая область	Европейско-Западно-Сибирская таёжно-лесная
Географический пояс	Бореальный

Характеристика	Описание характеристики
Почва (почвенный комплекс) основная	62 – Пог Подзолы глеевые торфянистые и торфяные, преимущественно иллювиально-гумусовые
Почва (почвенный комплекс) сопутствующая	56 – По ₁ ^{иг} Подзолы иллювиально-железистые (подзолы иллювиально-малогумусовые)
Порода основная	Песчаные

По показанным выше параметрам почвы можно сделать вывод, что она кислая ($pH_{\text{сол}} 2,0 - 4,0$) сильноненасыщенная, с четко выраженным элювиально-иллювиальным распределением гумуса, формируется на породах легкого (пески и супеси) гранулометрического состава в условиях дополнительного поверхностного или грунтового увлажнения в лесотундре и таежно-лесной зоне [11].

Согласно карте-схеме Рощинского лесничества, Ленинградской области за 2013 год [12], границы которого не менялись, слева от железной дороги на Мухинском болоте преобладающей породой является сосна, а справа от нее – ель. Сосново-кустарничково-сфагновые сообщества располагаются на территории как вдоль минерального берега, так и вдоль границы с садоводством. В мочажинах преобладают очеретниково-сфагновые сообщества, где наряду со *Sphagnum cuspidatum* доминирует *S. majus*. На открытых грядах единично встречается *Trichophorum cespitosum*, но постоянно, по всей площади массива. В центре массива Мухинского болота отмечены островково топяные (грядово-остаточные) участки с фрагментированными грядами-островками, покрытыми сообществами *Empetro nigrae* - *Sphagnetum rubellii*, и обширными топиями-мочажинами, где располагаются сообщества асс. *Rhynchosporo albae* - *Sphagnetum tenellii*. На большей части грядово-мочажинных участков отмечен комплекс сообществ *Ledo* - *Sphagnetum fusci* с *Trichophorum cespitosum* и *Rhynchosporo albae* - *Sphagnetum cuspidati* [13].

Исходя из исследования, в котором изучалось состояние верховых пород массивов Карельского перешейка [14], было проведено дешифрирование микроландшафтов на территории Мухинского болота. Для этого в QGIS был создан векторный слой с типом геометрии «Полигон» в формате Shapefile. В режиме его редактирования были обведены необходимые области и введены соответствующие названия микроландшафтов в таблицу атрибутов слоя. После завершения работы над слоем был создан макет для отображения легенды карты. Результат представлен на рисунке 2.

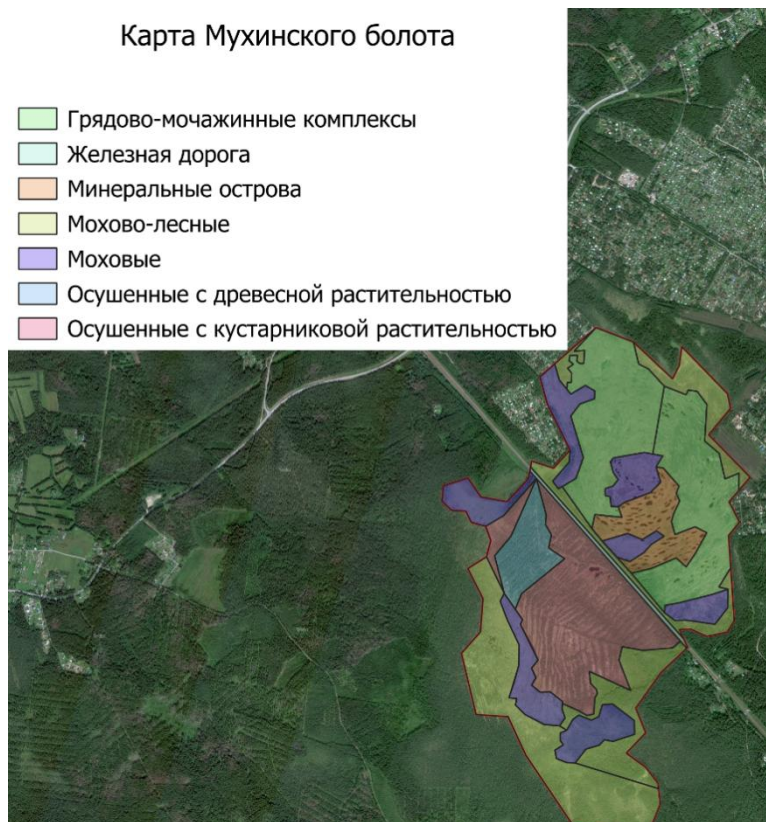


Рис. 2. - Растительный состав Мухинского болота

В результате дешифрирования получились следующие группы микроландшафтов: мохово-лесные, моховые, комплекс грядово-мочажинный, минеральные острова, территории осушенные с древесной/кустарниковой растительностью.

На осушенной части болотного массива прослеживается сеть осушительных канав, обозначенных многочисленными прямыми на спутниковом снимке.

Дальнейшее изучение болотистой местности будет направлено на проведение съемки с БЛА в весенний и летний периоды. С этой целью, на первоначальном этапе, было проделано визуальное дешифрирование (рисунок 3) для определения территорий, которые потребуют более детальной съемки.



Рис. 3. - Дешифрирование Мухинского болота для БЛА-съемки

Так как авторы статьи считают, что существует тенденция зарастания болотистых местностей в связи с глобальным потеплением, при визуальном дешифрировании спутникового снимка Мухинского болота был сделан акцент на анализ растительности. Снимки с БЛА этих территорий поможет определить наличие и тип растительного покрова территории.

При проведении съемки с БЛА важным фактором, влияющим на качество получаемых данных, являются ее параметры, которые могут быть изменены в зависимости от погоды. Например, солнечная погода способствует получению четких изображений, тогда как ветреные условия могут вызвать колебания прибора, что ухудшает качество снимков. Учитывая эти аспекты, авторы предлагают ориентировочный план по изучению Мухинского болота, включающий в себя:

1. Сбор первичной информации и ее систематизация;
2. Обработка и анализ собранных данных;
3. Определение периодичности мониторинга местности;
4. Интерпретация результатов и подготовка отчетов;
5. Хранение и архивирование материалов.

На этапе подготовки к аэрофотосъемке необходимо определить параметры полета БЛА. Высота 120 метров, скорость движения БВС 1,3 м/с и частота снимков один в 2 секунды. После сбора данных с БЛА потребуется их обработка, формирование ортофотоплана и анализ со спутниковыми изображениями для более детального анализа растительности.

На основе полученных материалов будет определен растительный покров для создания классифицированного слоя, с помощью которого можно будет получить степень зарастания болота и оценить динамику изменений. Для этого будут рассчитаны специальные коэффициенты, такие

как NDVI, IPVI, а также будет проведена точечная оценка снимков, морфологическая оценка ландшафтов и детальное дешифрирование территории с формированием геопространственной базы данных его состояния.

Более того, сформированный массив данных станет ценным источником для будущих исследований и может быть доступным по запросу для природоохранных и других ведомств. В плане работ намечено и сбор климатических данных: информация о температуре воздуха, воды, получение кернов от произрастающих древесных пород на исследуемой области для оценки ее воздействия на растительность.

В завершение исследования будут подведены итоги результатам которых могут стать цифровые интерактивные карты с векторными слоями и графиками для иллюстрации текущих и прошлых изменений на территории болота.

Таким образом, предварительное исследование позволило определить:

- типы и характеристики почвенного покрова Мухинского болота по почвенным картам. Так как в почве присутствует гумус, богатый питательными веществами, значит на болотистой местности существуют благоприятные условия для роста растений.
- преобладающие породы деревьев Мухинского болота: ель обыкновенная и сосна обыкновенная.
- современную карту микроландшафтов по группе растительного покрова при помощи дешифрирования территории в геоинформационной системе.
- данные для дальнейшего изучения Мухинского болота при помощи БЛА-съемки для определения более детальной растительности, поскольку спутниковые изображения не обеспечивают точного определения объектов из-за масштаба съемки.

Библиографический список

1. Berdsi P. Climate change of nature/R. Birdsey, Y. Pan //Nature Climate Change. – 2011. – С. 444-445.
2. Колбина Н. М., Колбина А. О. Осушение болот: освоение новых территорий или экологическое бедствие? //Международный журнал гуманитарных и естественных наук. – 2018. – №. 10-1. – С. 11-13.
3. Лапшина Е. Д., Блойтен В. Типы нарушений и естественное восстановление растительности олиготрофных болот на нефтяных месторождениях Томской области //Krylovia. Сибирский ботанический журнал. – 1999. – Т. 1. – №. 1. – С. 129-140.
4. Munizaga J. et al. Mapping coastal wetlands using satellite imagery and machine learning in a highly urbanized landscape //Sustainability. – 2022. – Т. 14. – №. 9. – С. 5700.
5. Keshta A. E. et al. Loss of coastal wetlands in Lake Burullus, Egypt: A GIS and remote-sensing study //Sustainability. – 2022. – Т. 14. – №. 9. – С. 4980.

6. Кузьменко Е. И. Изучение структуры и динамики ландшафтов юга западной Сибири и южного Зауралья на основе данных мозаики Хансена // Трансграничные территории Востока России: факторы, возможности и барьеры развития. – 2021. – С. 270-274.
7. Развитие методов картографирования болотных комплексов Западной Сибири на основе временных рядов данных дистанционного зондирования и машинного обучения / С. С. Шинкаренко, С. А. Барталев, Е. А. Дюкарев [и др.] // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2024. – Т. 21, № 6. – С. 200-212. – DOI 10.21046/2070-7401-2024-21-6-200-212. – EDN VYBTXX.
8. ЛВПЦ Ленинградской области [Электронный ресурс]. <https://hcvf.ru/ru/maps/hcvf-leningrad> (дата обращения: 16.12.2024).
9. NextGIS: Yandex Satellite [Электронный ресурс]. <https://qms.nextgis.com/geoservices/1461/> (дата обращения: 16.12.2024).
10. Почвенно-географическая база данных России [Электронный ресурс]. <https://soil-db.ru/ob-informacionnoy-sisteme> (дата обращения: 16.12.2024).
11. Единый государственный реестр почвенных ресурсов России [Электронный ресурс]. <http://info-soil.ru/reestr/content/1sem.php> (дата обращения: 16.12.2024).
12. Комитет по природным ресурсам Ленинградской области [Электронный ресурс]. <https://kpr.lenobl.ru/ru/deiatelnost/lesopolzovanie/informaciya-o-lesah-glavnaja/informaciya-o-lesah-leningradskoj-oblasti/shema-raspredeleniya-lesov-po-preobladayushim-porodam-i-grupпам-vozas/> (дата обращения: 16.12.2024).
13. Смагин, В. А. Болота северо-запада Карельского перешейка (Ленинградская обл.) / В. А. Смагин, М. А. Бойчук // Растительность болот: современные проблемы классификации, картографирования, использования и охраны : Материалы IV Международного научного семинара, Минск-Витебск, Беларусь, 22–24 сентября 2021 года. – Минск: Общество с ограниченной ответственностью «Колорград», 2021. – С. 98-101. – EDN MXKBAP.
14. Галанина О. В., Корнышев С. А. Изучение современного состояния верховых болотных массивов Карельского перешейка с использованием материалов дистанционной съемки на примере Мухинского болота // Wetlands and flyways in the Barents/Euro-Arctic Region and along Green Belt of Fennoscandia. – 2013. – С. 131-138.

И.А. Обухова, кандидат технических наук, доцент
Кафедра информационных систем и технологий
iobukhova@inbox.ru

И.Н.Трапезникова, к.ф.-м.н.,ст.н.сотр.
trapez@mail.ioffe.ru

В.И.Сиклицкий, н.сотр.
ФТИ им.А.Ф.Иоффе
siklitsky@gmail.com

ТЕХНОЛОГИИ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ В ПАКЕТЕ ORIGIN ДЛЯ ОБРАБОТКИ СПЕКТРОВ КРАФТОВОЙ БУМАГИ

INFORMATION PROCESSING TECHNOLOGIES IN THE ORI- GIN PACKAGE FOR PROCESSING KRAFT PAPER SPECTRA

Аннотация: Современное лесопользование требует эффективных решений. Статья рассматривает применение информационных технологий при исследовании ИК-спектров крафт-бумаги в пакете Origin. Рассматриваются возможные отличия в обработке спектров на двух разных спектрометрах.

Abstract: Modern forest management requires effective solutions. The article considers the use of information technologies in the study of IR spectra of kraft paper in the Origin package. Possible differences in the processing of spectra on two different spectrometers are considered.

Ключевые слова: информационные технологии, программный пакет Origin, лесная отрасль, целлюлозно-бумажная промышленность (ЦБП), инфракрасные (ИК) спектры, поглощательная способность, крафтовая бумага (крафт-бумага), деконволюция.

Keywords: information technologies, Origin software package, forest industry, pulp and paper industry (PPI), infrared (IR) spectra, absorption capacity, kraft paper, deconvolution.

Введение

В статье приводятся данные ИК-спектров крафт-бумаги, измеренные на инфракрасном спектрометре в ФТИ им.А.Ф.Иоффе и в СПбЛТУ имени С. М. Кирова в феврале 2025 г. Представляет научный интерес сравнение ИК-спектров, визуализация результатов измерений спектров в пакете Origin. Также авторами заказана серия образцов на ЦБП комбинате с целью выяснения влияния на качество крафт-бумаги исходных данных образцов крафт-бумаги.

Цель исследования заключается в представлении перспектив реализации цифровых проектов в аспекте использования информационных тех-

нологий в целлюлозно-бумажной промышленности, как перерабатывающей сырье – целлюлозу, получаемую из различных пород деревьев. Необходимо проанализировать, как влияет на прочностные свойства крафт-бумаги исходные характеристики сырья (в том числе по массе на 1 м^2).

Материалы и методика исследования

В последние несколько лет инфракрасные спектральные методы находят все более широкое применение в практике научного и промышленного анализа целлюлозы. Они могут быть с успехом применены для анализа различных структурных и химических модификаций целлюлозы и начинают использоваться для выяснения превращений целлюлозы в процессе производства крафт-бумаги, для определения природы водородных связей в целлюлозе, прогнозирования прочностных свойств крафт-бумаги. Измерения проводились на ИК-спектрометре FTIR-8400s Shimadzu ФТИ им. А. Ф. Иоффе и на ИК фурье-спектрометре ФСМ 2201 Санкт-Петербургского государственного Лесотехнического университета имени С. М. Кирова с применением KBr в диапазоне $3700\text{--}2400 \text{ см}^{-1}$ с разрешением 4 см^{-1} [2]. Образцы для ИК-спектрометра СПбГЛТУ запрессовывались в таблетку (1-2 мг исследуемого материала с 300 мг KBr).

Результаты опытов были получены в виде таблиц с цифрами, необходимо визуализировать эти данные, нарисовать графики по полученным точкам. Затем проанализировать по пикам водородных связей, что позволяет предсказать свойства крафтовой бумаги.

Origin – пакет программ для проведения численного анализа данных, включая различные статистические операции, обработку сигналов и т. п.

Благодаря Origin можно создавать двумерную и трехмерную научную графику при помощи готовых шаблонов, доступных для редактирования. Возможно также создавать новые собственные шаблоны.

Также в Origin включен собственный компилятор C/C++ с поддержкой и оптимизацией векторных и матричных вычислений.

Данные, полученные в результате спектроскопии, были импортированы в рабочие листы из файла Microsoft Excel посредством команды File>Import.

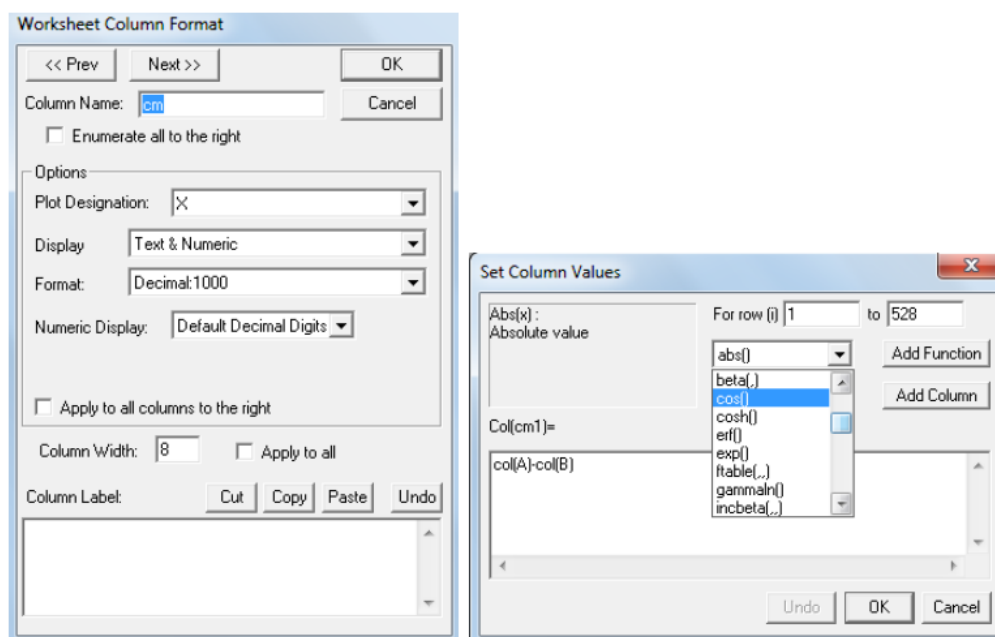


Рис. 1. - Меню управления колонками

Для построения графиков в Origin используется команда Plot. Внутри этой команды расположено множество шаблонов, доступных для редактирования. Выбрав необходимый набор настроек Origin автоматически построит график, используя данные выбранного столбца, а также столбца с меткой X (по умолчанию первый столбец).

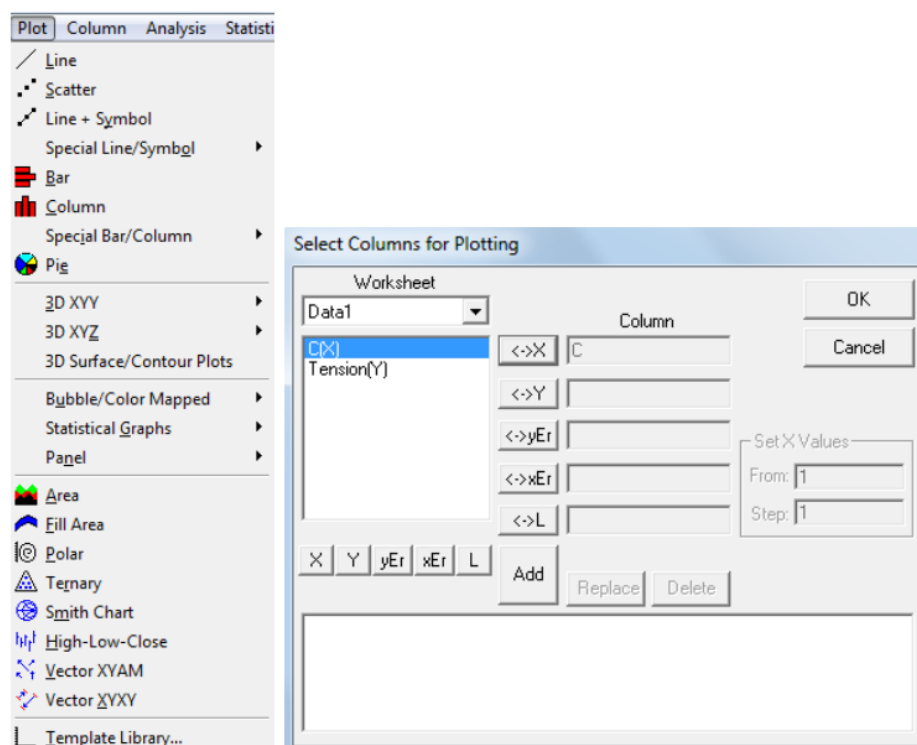


Рис. 2. - Меню команды Plot

Подписи, метки, графические символы, а также оси координат в построенном графике можно редактировать при желании.

Полученные спектры были обработаны в программе Origin 2018.

На некоторых частотах наблюдается зашумление сигнала. Для уменьшения зашумления необходимо сгладить графики. Есть три варианта сглаживания:

1. Сглаживание, использующее фильтрацию Savitzkiy-Golay;
2. Сглаживание, использующее смежное усреднение (Adjacent Averaging);
3. Сглаживание с использованием FFT-filter (использование быстрого преобразования Фурье).

Все методы сглаживания доступны в меню Analysis>Smoothing.

Для выполнения сглаживания был выбран второй метод – смежное усреднение. Оптимальное число точек для сглаживания можно определить только опытным путем. Однако, не стоит значительно увеличивать количество точек, так как могут пропасть важные детали графика.

Пропускание было преобразовано в поглощение. Пропускание за пределами области поглощения, т.е. $>3800\text{ см}^{-1}$ или $>2400\text{ см}^{-1}$, рассматривалось как отражение и рассеяние в образцах.

Их исключение нужно скорректировать выбором базовой линии.

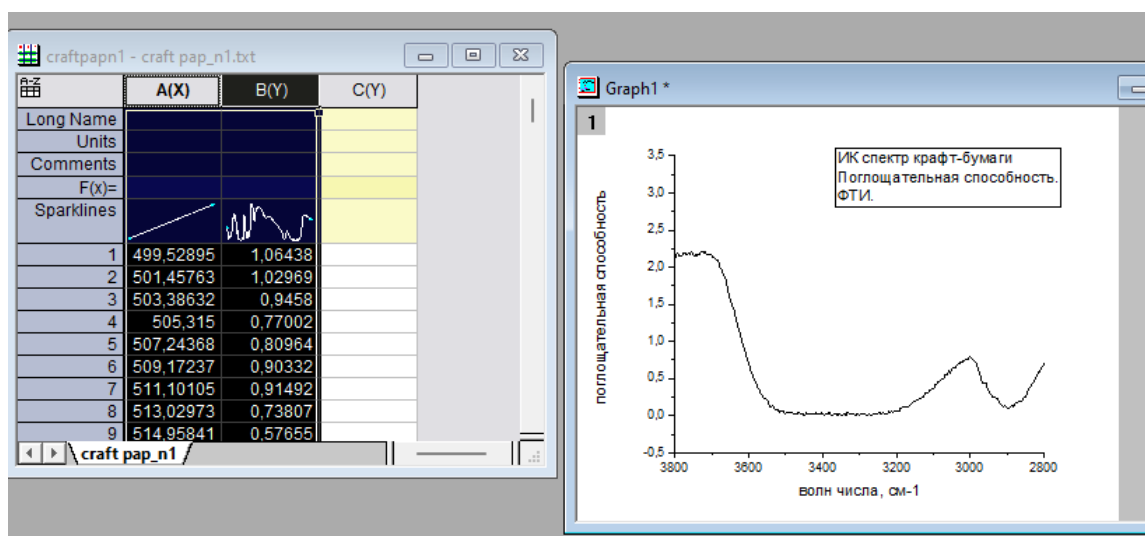


Рис.3. - В пакете Origin ИК-спектр крафт-бумаги, полученный на ИК спектрометре в ФТИ.

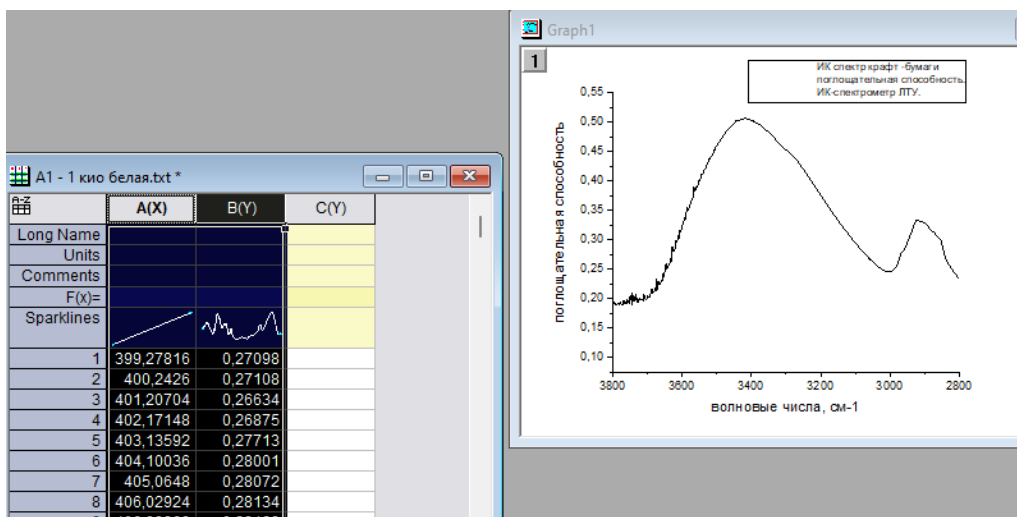


Рис.4. - В пакете Origin ИК-спектр крафт-бумаги, полученный на ИК спектрометре в СПбГЛТУ им. С.М. Кирова.

Как видно из сравнения рисунков 3 и 4, есть отличия в представлении ИК-спектра одного и того же образца, полученного на ИК спектрометре методом пропускания и на ИК-спектрометре с технологией таблетки KBr.

В дальнейшем необходимо проделать деконволюцию характерных пиков поглощения с помощью функции Гаусса, чтобы исследовать водородные связи в образцах крафтовой бумаги, рассчитать энергию и длину Н-связи.

Вклад авторов: написание статьи, визуализация данных – И.А.Обухова, измерение на спектрометре в ФТИ – И.Н.Трапезникова, благодарность за участие мл.н.сотр.С.Д.Пименову (измерения на спектрометре в СПбГЛТУ им.С.М.Кирова), обработка результатов –В.И.Сиклицкий.

Результаты исследования.

В статье представлен метод обработки с помощью программного пакета Origin видов спектров крафт-бумаги, предполагается дальнейшая их деконволюция (разложение) с целью выяснения влияния характерных пиков – гаусс-контуров на прочностные свойства крафт-бумаги. Реализация цифровой обработки в пакете Origin представляет несомненный интерес в дальнейших исследованиях авторов.

Библиографический список

1. Иванов-Омский В.И. ИК-спектроскопия водородных связей в D-глюкозе//Письма в ЖТФ. 2014.Т.40(18). С.29-34.
2. И.А. Обухова, С.Д. Пименов, И.Д. Лобок. Сезонная береза: результаты инфракрасной спектроскопии. Известия СПбЛТА, вып.248, 2024, с.304-317.
3. Fengel, Dietrich. 1992. "Characterization of Cellulose by Deconvoluting the OH Valency Range In FTIR Spectra." *Holzforschung* 46(4): 283–88.

И.А. Потапов, кандидат технических наук, доцент
кафедра общепрофессиональных дисциплин
Военная академия связи имени С.М. Буденного
ilpotapovil@mail.ru

В.А. Филимонов, кандидат технических наук, доцент
кафедра общепрофессиональных дисциплин
Военная академия связи имени С.М. Буденного
vas.2kaf@mil.ru

В.И. Дырин, преподаватель
кафедра общепрофессиональных дисциплин
Военная академия связи имени С.М. Буденного
vas.2kaf@mil.ru

Та Мин Куанг, курсант
Военная академия связи имени С.М. Буденного

ОСОБЕННОСТИ ДЕКОДИРОВАНИЯ КОДОВ ХЕММИНГА

FEATURES OF DECODING HAMMING CODES AND

Аннотация: особенности декодирования известных кодов Хемминга (7, 4) и (8, 4), с точки зрения, соответствия всех возможных векторов и синдромов ошибок, позволяет повышать вероятность обнаружения и исправления одиночных и двойных ошибок.

Abstract: the decoding features of the known Hamming codes (7, 4) and (8, 4), from the point of view of the correspondence of all possible vectors and error syndromes, make it possible to increase the probability of detecting and correcting single and double errors.

Ключевые слова: блочный код, код Хемминга, порождающая и проверочная матрицы, вектор ошибки, синдром ошибки.

Key words: block code, the Hemming code, generative and verification matrices, error vector, error syndrome.

Введение

Известно, что код Хемминга широко используется во многих прикладных программах в области хранения и обмена данными, например, в RAID. Кроме того, данный код применяется в памяти типа ECC и позволяет быстро обнаруживать и исправлять однократные, а также обнаруживать двукратные ошибки. Применительно к связи коды Хемминга используются при передаче факсограмм (система связи SkyFax). Интерес к данным кодам вызывает их простота реализации и низкая вычислительная сложность процесса декодирования при передаче данных.

Задача

Повысить помехоустойчивость при передаче данных с учетом простоты реализации и низкой вычислительной сложности устройств декодирования.

Решение

Рассмотрим особенности при декодировании 2-х линейных блочных систематических (n, k) -кодов: известный $(7, 4)$ -код Хемминга и его модификация $(8, 4)$ -код Хемминга.

Данные коды являются линейными блочными систематическими (n, k) -кодами с обобщенными проверками на четность с задающей их порождающей матрицей кода G . Код Хемминга $(7, 4)$ является классической иллюстрацией простейших кодов с исправлением ошибок.

Проверочная матрица H ортогональна любой кодовой последовательности кода. Проверочная матрица позволяет легко определить, является ли принятая последовательность кодовым словом данного кода. Порождающая и проверочная матрицы (G и H) для $(7, 4)$ -кода Хемминга имеют вид:

$$G_{(7,4)} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad H_{(7,4)} = \begin{bmatrix} 1011 & 100 \\ 1110 & 010 \\ 0111 & 001 \end{bmatrix} \quad (1)$$

Все возможные для $(7, 4)$ -кода одиночные ошибки и соответствующие им векторы синдрома приведены в таблице 1.

Таблица 1

Ошибки и соответствующие им векторы синдрома для кода $(7, 4)$

Вектор ошибки	Синдром ошибки	Десятичный код синдрома
1000000	110	6
0100000	011	3
0010000	111	7
0001000	101	5
0000100	100	4
0000010	010	2
0000001	001	1

Из этой таблицы видно, что существует однозначное соответствие между сочетанием ошибок (при одиночной ошибке) и его синдромом, то есть, зная синдром, можно совершенно однозначно определить позицию кода, в которой произошла ошибка.

Теперь рассмотрим код Хемминга $(8, 4)$. Данный код является кодом с дополнительной проверкой на четность. Порождающая и проверочная матрицы (G и H) для $(8, 4)$ -кода Хемминга имеют вид:

$$G_{(8,4)} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 \end{bmatrix}, H_{(8,4)} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

Можно заметить, что последний столбец порождающей матрицы является суммой по модулю 2 предшествующих 7 битов в соответствующей строке матрицы. Таким образом, выполняется еще одна проверка на четность. Введение дополнительной проверки на четность позволяет исключить «ложное» исправление при двойной ошибке.

Все возможные для (8, 4)-кода одиночные ошибки и соответствующие им векторы синдрома приведены в таблице 2. Из данной таблицы видно, что существует однозначное соответствие между сочетанием ошибок (при одиночной ошибке) и его синдромом. Заметим, если сумма единиц в синдроме равна 3, то можно констатировать, что произошла одиночная ошибка в информационной части кодового слова, а если 1, то одиночная ошибка находится в проверочной части кодового слова.

Таблица 2

Ошибки и соответствующие им векторы синдрома для кода (8, 4)

Вектор ошибки	Синдром ошибки	Десятичный код синдрома
10000000	1110	14
01000000	1011	11
00100000	0111	7
00010000	1101	13
00001000	1000	8
00000100	0100	4
00000010	0010	2
00000001	0001	1

Заключение

Анализ кодов Хемминга (7, 4) и (8, 4) показывает, что данные коды без проблем справляются с обнаружением и исправлением одиночных ошибок. Данные коды также способны обнаружить и двойные ошибки, но исправить их — уже нет. Причина этому — собственные свойства, влияющие на помехоустойчивость связи, в частности, значения минимальных кодовых расстояний представленных кодов.

Библиографический список

1. Филимонов В. А., Остроумов О.А., Синюк А.Д. Теория электрической связи: Учебное пособие: в 2 ч. Ч. 2. СПб.: ВАС, 2017, 204 с.
2. Филимонов В.А. Теория электрической связи через цифровую обработку сигналов с примерами в MATLAB: учебное пособие /

В.А. Филимонов. – Москва, Вологда: Инфра-Инженерия, 2022. – 780 с.: ил. табл.

А.С. Скубак, аспирант
Кафедры информационных систем и технологий
СПбГЛТУ им. С. М. Кирова
meatboy27@yandex.ru
М.П. Филяев, доктор технических наук, профессор
кафедры информационных систем и технологий
СПбГЛТУ им. С. М. Кирова
mastkon@yandex.ru

АНАЛИЗ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЕ БЕСПРОВОДНЫХ СЕНСОРНЫХ СЕТЕЙ И ДЛИТЕЛЬНОСТЬ ИХ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА

ANALYSIS OF FACTORS AFFECTING ENERGY CONSUMPTION OF WIRELESS SENSOR NETWORKS AND THEIR LIFE CYCLE DURATION

***Аннотация.** В статье рассмотрен актуальный проблемный вопрос, связанный с поиском решений по увеличению длительности жизненного цикла автономно функционирующих беспроводных сенсорных сетей. На основе всестороннего анализа факторов, влияющих на энергопотребление рассматриваемых сетей, установлено, что повышенное энергопотребление в них обусловлено процессами приема, передачи данных, активации ретранслятора и выполнением измерений, включая активацию микроконтроллера и аналогово-цифрового преобразователя, входящих в состав каждого узла сети. Для сокращения энергопотребления автономных беспроводных сенсорных сетей и, тем самым, увеличения длительности их жизненного цикла, предлагается при их проектировании особое внимание уделять разработке адаптивных механизмов управления энергопотреблением, которые могут обеспечить динамическое регулирование активности узлов в зависимости от текущих условий сети и окружающей среды.*

***Abstract.** The article considers a topical problematic issue related to the search for solutions to increase the life cycle duration of autonomously operating wireless sensor networks. Based on a comprehensive analysis of the factors affecting the energy consumption of the networks under consideration, it was found that increased energy consumption in them is due to the processes of receiving and transmitting data, activating the repeater and performing measurements, including activating the microcontroller and analog-to-digital converter included in each network node. To reduce the energy consumption of autonomous wireless sensor networks and, thereby,*

increase the duration of their life cycle, it is proposed to pay special attention to the development of adaptive energy management mechanisms during their design, which can ensure dynamic regulation of node activity depending on the current network conditions and the environment.

Ключевые слова: беспроводная сенсорная сеть, датчик, длительность жизненного цикла, радиоканал, узел сети, энергопотребление.

Keywords: wireless sensor network, sensor, life cycle duration, radio channel, network node, power consumption.

Введение

Беспроводные сенсорные сети (БСС) – это распределённые, самоорганизующиеся сети из множества датчиков и исполнительных устройств (рисунок 1).

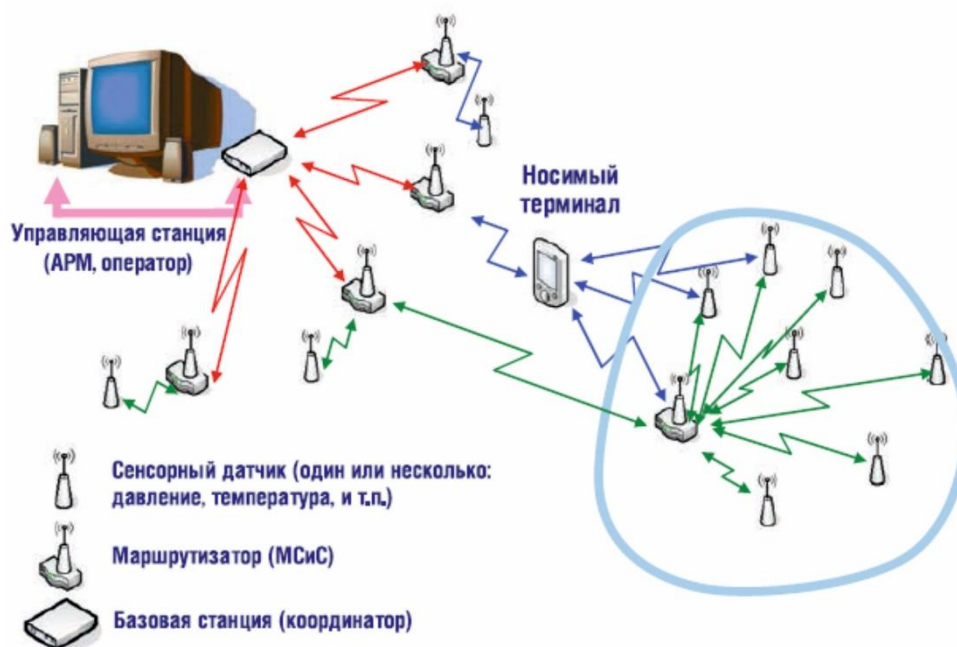


Рис. 1. – Общая организация БСС

Технологию беспроводных сенсорных сетей можно представить как способ обмена данными между различными устройствами и центрами обработки информации. В таких сетях множества датчиков и исполнительных устройств объединены между собой посредством радиоканала. Информация от датчиков (температуры, давления, влажности, уровня радиации, акустических колебаний и т.д.) собирается и передается в центральный узел для последующего анализа или обработки.

Таким образом, БСС – это современная, многофункциональная технология, которая может применяться для построения вычислительных и коммуникационных систем в различных сферах деятельности.

Благодаря возможностям построения различных вариантов конфигураций БСС находят широкое применение от формирования умных домов до систем мониторинга территорий. Однако, несмотря на широкий функ-

ционал, беспроводные сенсорные сети имеют ряд ограничений, в частности, связанных с энергоэффективностью сенсорных устройств. Чаще всего беспроводные сенсорные устройства устанавливаются с целью минимизировать необходимое человеческое вмешательство, что требует их полной или частичной автономности. Это создаёт проблему поддержания уровня заряда, так как устройства часто размещаются в местах, где их невозможно подключить к общей энергетической сети (рисунок 2).

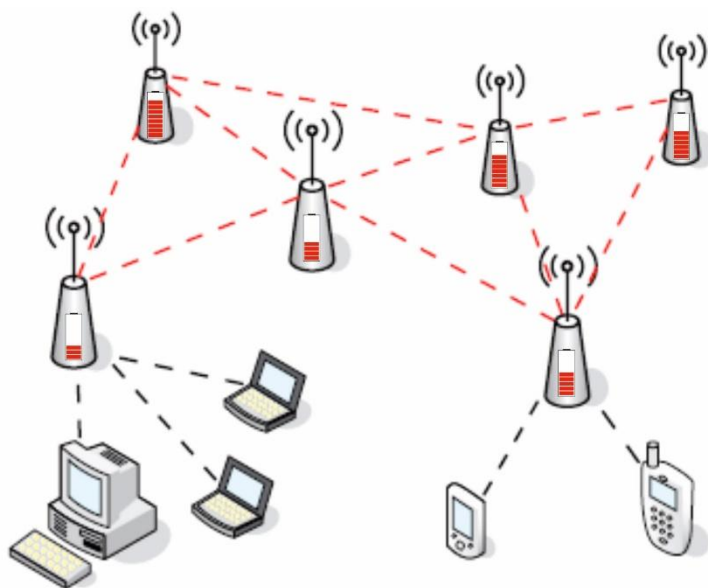


Рис. 2. – Энергозависимость длительности жизненного цикла автономно функционирующих БСС

Важность энергетического фактора в работе БСС является краеугольным камнем эффективной и продолжительной работы всей сети. Каждый сенсорный узел обычно питается от небольших батарей, что делает энергосбережение первостепенным фактором. Это стимулировало обширные исследования, направленные на выработку различных стратегий оптимизации энергопотребления. Существующие методики сильно зависят от области применения, поскольку разные условия могут выявлять слабые места в разных точках сети.

В рамках данной статьи предлагается исследовать особенности оценки энергозатрат в БСС и рассмотреть существующие методики по их снижению, оценить общее влияние энергии на продолжительность жизненного цикла БСС.

Основная часть

Первоначальной задачей при построении сети БСС является анализ энергопотребления самих узлов. Конфигурация каждого из узлов примерно похожа, хоть и может отличаться. Обычно узел состоит из: датчика, микроконтроллера, памяти, радио-приемопередатчика и автономного источника питания. В работе П.В. Галкина было доказано, что основная часть энергии тратится на коммуникацию (прием, прослушивание и передачу данных), а не на обработку или сохранение данных [1]. А также при-

ведена система оценки энергопотребления конкретного узла, представленная следующей формулой (1)

$$E_e = E_{sleep} + E_{MCU} + E_{rcv} + E_{trans} + E_{ather}, \quad (1)$$

где E_{sleep} – энергия, потребляемая узлом в фазе сна; E_{MCU} – энергия, потребляемая узлом во время работы микроконтроллера или вычислительного ядра приемопередатчика при его отсутствии; E_{rcv} – энергия, потребляемая узлом во время приема; E_{trans} – энергия, потребляемая узлом во время передачи; E_{ather} – энергия, потребляемая узлом в других режимах (режим пробуждения и др.)

Однако формула является достаточно общей, так как в один описанный параметр может входить несколько факторов, при которых затрачивается электроэнергия во время работы узла БСС. Основываясь на работе В.А. Власовой у сенсорного узла численно больше состояний, при которых энергия потребляется в различных объемах (рисунок 3).

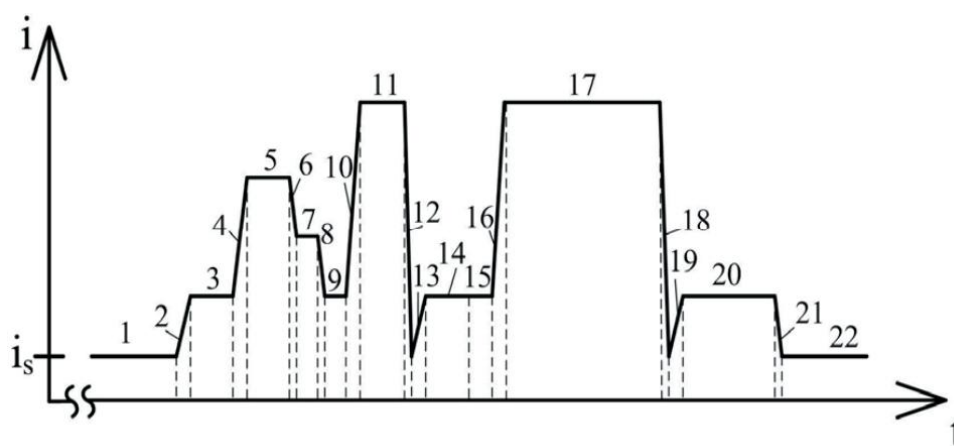


Рис. 3. – Циклограмма энергопотребления узла

При работе узла энергия затрачивается в уникальном объеме: в ждущем режиме потребления энергии (точка 1), во время включения приемника (точка 2), приема сигнала (точка 3), включения микроконтроллера и аналогово-цифрового преобразователя (АЦП) (точка 4), измерение значения контролируемого параметра (точка 5), выключение АЦП (точка 6), обработка микроконтроллером результатов измерения с АЦП (точка 7), включение микроконтроллера (точка 8) и т.д. [2]

Анализируя полный цикл работы узла на рисунке 3, можно сделать основные выводы о зонах повышенного энергопотребления:

1. В точке 5 происходит измерение контролируемого параметра, энергопотребление повышено, но не является пиковым.
2. В точке 11 осуществляется передача пакета активации ретранслятора, где значение энергопотребления достаточно высоко, но достаточно коротко по времени.
3. В точке 17 производится передача информации о результате измерения, затраты энергии пиковые и продолжительные.

Основное энергопотребление в БСС обусловлено процессами приема, передачи данных, активации ретранслятора и выполнением измерений, включая активацию микроконтроллера и аналогово-цифрового преобразователя. Наибольшие энергозатраты происходят при передаче данных, особенно в точках активации ретранслятора и передачи результатов измерений, что связано с высоким уровнем мощности, необходимой для работы приемопередатчика [3]. Энергозатраты в режиме ожидания, а также во время обработки данных микроконтроллером и хранения информации от сенсоров, являются минимальными, но также вносят вклад в общий баланс энергопотребления.

Повышенное энергопотребление при передаче данных также может быть связано не только с мощностью приемопередатчика, но и с другими причинами, например:

1. **Коллизии:** возникают, если на узел поступает одновременно множество пакетов. Все пакеты, не дошедшие в целостности до узла передаются заново.

2. **Перехват пакетов (Overhearing):** узлы, находящиеся в радиусе действия передающего узла, принимают переданный пакет, даже если он им не предназначен, что ведет к ненужному расходу энергии.

3. **Прослушивание в режиме ожидания (Idle listening):** один из основных факторов расхода энергии, когда узел слушает неактивный канал передачи данных [3].

Для повышения энергоэффективности БСС необходимо оптимизировать энергопотребление сенсорных узлов, сохраняя при этом высокую связность сети. По результатам проведенного анализа можно сделать вывод, что минимизировать затраты энергии возможно и при передаче данных на основе применения различных подходов:

1. **Применение алгоритмов сжатия данных:** методы сжатия, такие как дифференциальное кодирование или алгоритм Лемпеля-Зива, позволяют существенно уменьшить объем передаваемой информации, снижая энергозатраты на передачу.
2. **Применение энергоэффективных протоколов связи:** использование протоколов с низким энергопотреблением (например, протоколы MAC с учетом энергосбережения) помогает минимизировать активное время работы приемопередатчиков.
3. **Оптимизация процессов инициализации сети:** новые методы распределенной инициализации и самоконфигурации узлов позволяют сократить энергозатраты на установление связей и обнаружение соседей, а также выборка наиболее оптимальных маршрутов позволит снизить энергопотребление при передаче данных между узлами.
4. **Использование ретрансляции пакетов:** включение промежуточных узлов для передачи данных снижает расстояние передачи и, соответственно, необходимую мощность радиопередатчика.
5. **Минимизация объемов передаваемых данных:** установка ограничений на сбор данных можеткратно уменьшить количество переда-

ваемой информации, а следовательно, необходимые энергозатраты на их пересылку.

Дополнительно, одним из направлений повышения эффективности энергопотребления может стать использование адаптивных механизмов работы узлов, при которых уровень активности компонентов (например, частота микроконтроллера, время активности АЦП) динамически подстраивается под текущую нагрузку или условия работы сети. Адаптивные механизмы управления энергопотреблением включают в себя автоматическую корректировку параметров работы узлов в зависимости от текущих условий сети и окружающей среды. Эти механизмы могут быть реализованы посредством использования различных алгоритмов машинного обучения, которые анализируют данные о нагрузке сети и предсказывают оптимальные режимы работы для каждого узла. Известные результаты исследований в данном направлении позволяют сделать вывод о том, что использование машинного обучения позволит снизить уровень энергозатрат благодаря его применению в маршрутизации, кластеризации, агрегации данных и управлении циклами узлов (засыпание и пробуждение) [5].

Заключение

В статье подробно рассмотрен порядок расходования энергии узлом сенсорной сети при работе и передаче данных. Доказана важность эффективного управления энергией в БСС, которая обусловлена ее малым запасом ввиду автономности и труднодоступности сенсорных устройств. Так как аккумулятор любого узла имеет собственные ограничения по заполняемости, следует не только увеличивать объемы аккумулятора (тем самым увеличивая общую стоимость сети), но и эффективно работать с уже имеющимся общим уровнем заряда в сети.

Было установлено, что одним из наиболее значимых факторов энергопотребления в БСС является коммуникация между узлами сети. Как показано в исследовании П.В. Галкина и В.А. Власовой, наибольшие энергозатраты связаны с процессами передачи и приема данных, а не с их обработкой или хранением (в процессе работы узла). Исходя из этого, исследования по оптимизации рассмотренных процессов является приоритетной при разработке новых решений по снижению затрат электроэнергии в сети. Например, минимизация объема передаваемых данных с помощью алгоритмов сжатия и использование протоколов с низким энергопотреблением могут позволить снизить энергозатраты.

Также особое внимание стоит уделить разработке адаптивных механизмов управления энергопотреблением, которые могут обеспечить динамическое регулирование активности узлов в зависимости от текущих условий сети и окружающей среды.

Библиографический список

1. Галкин П.В. Анализ энергопотребления узлов беспроводных сенсорных сетей / П. В. Галкин // ScienceRise. – 2014. – № 2(2). – С. 55-61. – EDN TBSEFH.
2. Зеленин А.Н. Анализ энергоциклов узлов беспроводных сенсорных сетей / А.Н. Зеленин, В. А. Власова // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2012. – Т. 3, № 9(57). – С. 13-17. – EDN QCFC AJ.
3. Суханов А.В. Автономный беспроводной сенсорный узел для контроля газовой среды на промышленных объектах / А. В. Суханов // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и технические науки. – 2018. – № 7. – С. 43-48. – EDN UYUWQJ.
4. Samara, Ghassan & Albesani, Ghadeer & Alauthman, Mohammad & Al Khaldy, Mohammad. (2020). Energy-Efficiency Routing algorithms in Wireless Sensor Networks: a Survey // International Journal of Scientific & Technology Research, Vol 9, ISSUE 1,– 2020. – С. 4415-4419.
5. Abu Alsheikh, M. Lin, S. Niyato, D.Tan, H.-P. Machine Learning in Wireless Sensor Networks: Algorithms, Strategies, and Applications // IEEE Communications Surveys & Tutorials, т. 16, № 4,– 2014. – С. 1996-2018.

В.Г. Стефанцов, студент
Кафедра информационных систем и технологий
СПбГЛТУ им. С.М. Кирова
vasily2097@gmail.com

РАЗРАБОТКА ПЛАНИРОВЩИКА АВИАПЕРЕЛЁТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОСТЕЙШИХ ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЙ В СРЕДЕ SWI PROLOG

DEVELOPMENT OF AIR TRAVEL SCHEDULER USING SIMPLE WEB APPLICATIONS IN SWI PROLOG ENVIRONMENT

***Аннотация.** В статье описывается разработка простейшего веб-приложения для планировщика авиаперелётов с использованием среды SWI Prolog. Основное внимание уделено применению методов логического программирования для оптимизации процессов организации авиарейсов. Описываются подходы к созданию программных инструментов, направленных на упрощение и автоматизацию задач планирования. В заключение обсуждаются перспективы развития и внедрения подобных технологий для повышения эффективности управления авиаперевозками.*

Abstract. *The article focuses on the development of a basic web application for a flight scheduler using the SWI Prolog environment. Particular attention is given to the application of logical programming methods to optimize flight scheduling processes. Approaches to creating software tools aimed at simplifying and automating planning tasks are described. Finally, the prospects for the development and implementation of such technologies to improve the efficiency of air transportation management are discussed.*

Ключевые слова: *гражданская авиация, решение логических задач, планировщик, SWI Prolog.*

Keywords: *civil aviation, solutions logical problems, scheduler, SWI Prolog.*

Технологии искусственного интеллекта играют всё более значимую роль в различных отраслях современного общества, включая гражданскую авиацию. Их интеграция способствует автоматизации процессов, таких как планирование, организация и контроль авиаперелётов. В частности, разработка планировщиков авиаперелётов с использованием простейших веб-приложений в среде SWI Prolog позволяет эффективно решать задачи координации рейсов с учётом ключевых параметров, таких как день рейса, время вылета и прилёта, город отправления и прибытия, а также номер рейса [1].

Применение гражданской авиации охватывает множество аспектов, включая транспортировку пассажиров и грузов, наблюдение за различными объектами и координацию действий служб в чрезвычайных ситуациях. Однако одной из ключевых задач остаётся планирование рейсов, особенно в условиях высокой загруженности воздушного пространства [2]. Использование технологий искусственного интеллекта позволяет улучшить качество планирования и минимизировать риски, связанные с ошибками или несогласованностью маршрутов. В рамках разработки планировщика авиаперелётов в среде SWI Prolog создаются алгоритмы, способные автоматически генерировать оптимальные маршруты. Веб-приложение предоставляет пользователям интуитивно понятный интерфейс, через который можно оперативно задавать ключевые параметры рейсов, такие как день вылета, города отправления и прибытия, а также получать данные о времени вылета и прилёта. Таким образом, внедрение подобных решений не только повышает эффективность планирования авиаперелётов, но и способствует развитию современных технологий в отрасли гражданской авиации.

В рамках текущей исследовательской работы задачей становится разработка простейшего рейсового планировщика маршрутов авиаперелётов. В качестве его программной основы будет использована программа «Планирование поездки», написанная на языке Prolog и предоставленная в сборнике Ивана Братко [3], профессора компьютерных наук университета Любляны.

Для описания входных данных использовался формат фактов и правил, предоставляемый Prolog. Информация об авиаперелётах представлена в виде фактов, содержащих данные об аэропортах вылета и прилёта, времени отправления и прибытия, номере рейса, а также днях недели, в которые выполняется рейс. Такой подход позволяет эффективно обрабатывать данные и использовать их для логических выводов в процессе планирования. Некоторые авиарейсы, описанные с помощью Prolog, продемонстрированы на рисунке 1.

```

расписание('екатеринбург', 'санкт-петербург', [
    06:15 / 07:10 / 'SU6402' / ежедневно,
    22:25 / 23:20 / 'SU6404' / ежедневно
]).
расписание('санкт-петербург', 'сочи', [
    06:35 / 11:15 / 'SU6559' / [вт, чт],
    09:35 / 13:40 / 'SU2856' / [вт, ср, пт],
    18:05 / 22:35 / 'SU6567' / [пн, чт, сб, вс]
]).
расписание('екатеринбург', 'красноярск', [
    13:50 / 18:50 / 'SU6792' / [пн],
    12:15 / 17:10 / 'SU6792' / [чт],
    18:15 / 23:20 / 'SU6792' / [вс]
]).
расписание('красноярск', 'екатеринбург', [
    11:30 / 12:35 / 'SU6791' / [пн],
    10:10 / 11:25 / 'SU6791' / [чт],
    22:00 / 23:15 / 'SU6791' / [пт]
]).
расписание('красноярск', 'иркутск', [
    08:20 / 11:10 / 'SU6881' / ежедневно,
    21:25 / 00:10 / 'SU6685' / ежедневно
]).

```

Рис. 1. - Сведения о нескольких авиарейсах в формате Prolog

Помимо этого, следует разработать набор правил, которые будут отвечать за идентификацию прямых авиамаршрутов, а также за построение и анализ маршрутов с пересадками, обеспечивая их оптимальный поиск с учетом заданных параметров, таких как минимальное время в пути, количество пересадок или другие критерии. Результат продемонстрирован на рисунке 2.

```

рейс(Пункт1, Пункт2, День, НомерРейса, ВремяОтправления, ВремяПрибытия, Дни) :-
    расписание(Пункт1, Пункт2, СписокРейсов),
    принадлежит(ВремяОтправления / ВремяПрибытия / НомерРейса / Дни, СписокРейсов),
    (var(День) -> true ; день_выл(День, Дни)).

маршрут(Откуда, Куда, День, [НомерРейса1, НомерРейса2],
[ВремяОтправления1, ВремяПрибытия1, ВремяОтправления2, ВремяПрибытия2],
[Откуда, Промежуточный, Промежуточный, Куда], [Дни1, Дни2]) :-
    рейс(Откуда, Промежуточный, День, НомерРейса1, ВремяОтправления1, ВремяПрибытия1, Дни1),
    рейс(Промежуточный, Куда, День, НомерРейса2, ВремяОтправления2, ВремяПрибытия2, Дни2),
    ВремяПрибытия1 @< ВремяОтправления2.

```

Рис. 2. - Исходный код предикатов для осуществления запросов и поиска маршрутов

После создания базы данных, содержащей совокупность основных и вспомогательных предикатов, она интегрируется в разработанное приложение с пользовательским интерфейсом. Это позволяет проводить отладку функциональности рейсового планировщика через удобный графический интерфейс. Пользователи могут задавать параметры маршрута (например, пункты отправления и назначения, а также день поездки) с помощью интерфейса, как показано на главной странице приложения. Интерпретатор SWI Prolog выполняет обработку запросов, удовлетворяющих синтаксису языка Prolog, что обеспечивает динамическое построение и анализ маршрутов.

На главной странице приложения пользователь имеет возможность взаимодействовать с функционалом планировщика рейсов. В частности, доступен просмотр всех доступных ежедневных рейсов с указанием пунктов отправления и назначения, а также времени выполнения рейсов. Кроме того, интерфейс позволяет задать параметры маршрута, такие как город отправления, город прибытия, а также выбрать конкретный день недели, в который планируется рейс. Такой подход обеспечивает гибкость в формировании запросов и упрощает поиск подходящих вариантов.

Форма ввода данных о рейсе приведена на рисунке 3.

Рис. 3. -Форма поиска данных о расписании авиа рейсов

С её помощью пользователь вводит исходные данные (например, "Москва" в поле города отправления, "Екатеринбург" в поле города прибытия) и выбирает день недели из выпадающего списка. После ввода всех параметров, кнопка «Найти решение» запускает обработку данных и отображает результаты, соответствующие заданным критериям (рисунки 4-5).

Найденные рейсы

Прямые рейсы

Нет прямых рейсов.

Рейсы с пересадками

Откуда	Куда	Рейс	Время отправления	Время прибытия	Дни недели	Откуда	Куда	Рейс	Время отправления	Время прибытия	Дни недели
москва	санкт-петербург	SU6498	06:00	07:26	пнсрпт	санкт-петербург	екатеринбург	SU6417	11:55	16:50	сбвс
москва	санкт-петербург	SU6498	06:00	07:26	пнсрпт	санкт-петербург	екатеринбург	SU6403	16:40	21:25	ежедневно
москва	санкт-петербург	SU6804	06:30	07:56	ежедневно	санкт-петербург	екатеринбург	SU6417	11:55	16:50	сбвс
москва	санкт-петербург	SU6804	06:30	07:56	ежедневно	санкт-петербург	екатеринбург	SU6403	16:40	21:25	ежедневно
москва	санкт-петербург	SU6026	14:30	16:05	втчсб	санкт-петербург	екатеринбург	SU6403	16:40	21:25	ежедневно
москва	санкт-петербург	SU6954	23:00	00:35	ежедневно	санкт-петербург	екатеринбург	SU6417	11:55	16:50	сбвс
москва	санкт-петербург	SU6954	23:00	00:35	ежедневно	санкт-петербург	екатеринбург	SU6403	16:40	21:25	ежедневно

[Назад на главную](#)

Рис. 4. - Пример результата поиска рейса с пересадкой

Найденные рейсы

Прямые рейсы

Рейс	Время отправления	Время прибытия	Дни недели
SU6402	06:15	07:10	ежедневно
SU6404	22:25	23:20	ежедневно

Рейсы с пересадками

Рейсов с пересадками не найдено.

[Назад на главную](#)

Рис. 5. - Пример результата поиска прямого рейса

Благодаря широкому спектру программных интерфейсов, предоставляемых реализацией SWI Prolog, и его превосходной способности решать логические задачи, Prolog-программы могут быть эффективно интегрированы в окружения высокоуровневых языков программирования [4]. Это делает возможным использование сформированного рейсового планировщика в системах маршрутизации для поиска и формирования оптимальных маршрутов. Простота и доступность декларативного подхода Prolog дополнительно способствуют его применению в подобных задачах.

Библиографический список

1. Кнышев И.А., Логачева Л.Г. Разработка планировщика рейсовых авиаперелетов как частный случай применения информационных технологий в сфере лесного хозяйства. В сборнике: Актуальные вопросы лесного хозяйства. Материалы VII международной молодежной научно-практической конференции. Санкт-Петербург, 2023. С. 196-200.
2. Flight tracking statistics - Real-time flight tracker. — Текст: электронный // Flightradar24: [сайт]. — URL: <https://www.flightradar24.com/data/statistics> (дата обращения: 12.01.2025).
3. Братко, И. Программирование на языке Пролог для искусственного интеллекта: Пер. с англ. / И. Братко. — М.: МИР, 1990. — 560 с. — Текст: непосредственный.
4. packages. — Текст: электронный // SWI-Prolog: [сайт]. — URL: https://www.swi-prolog.org/pldoc/doc_for?object=packages (дата обращения: 12.01.2025).

С.А. Субботина, студентка

Кафедра Автоматизации технологических процессов и производств
СПГУПТД ВШТЭ
Sofia.sub@yandex.ru

Д. А. Ковалёв, кандидат технических наук, доцент,

Кафедра Автоматизации технологических процессов и производств
СПГУПТД ВШТЭ
d.a.kovalyov@yandex.ru

СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ АВАРИЙ, ПРИЧИНЫ И СЛЕДСТВИЯ ИХ ВОЗНИКНОВЕНИЯ НА ПАО «ТГК-1»

STATISTICAL ANALYSIS OF ACCIDENTS, CAUSES AND CONSEQUENCES OF THEIR OCCURRENCE AT PAO «TGK-1»

***Аннотация:** в статье представлен статистический анализ аварий, произошедших на ПАО «ТГК-1», с целью выявления основных причин и последствий их возникновения. Исследование охватывает период последних 10 лет и основывается на данных о зарегистрированных и обезличенных авариях, их характеристиках и последствиях для производственного процесса. Анализ включает в себя классификацию аварий по типам, причинам и последствиям, а также оценку их влияния на безопасность труда и эксплуатацию оборудования. Выявленные закономерности позволяют определить наиболее уязвимые участки в системе управления безопасностью и предложить рекомендации по*

улучшению профилактических мер. Результаты исследования могут быть полезны как для специалистов в области энергетики, так и для исследователей, занимающихся вопросами безопасности на производстве.

Abstract: The article presents a statistical analysis of accidents that occurred at POA «TGC-1» in order to identify the main causes and consequences of their occurrence. The study covers the period of the last 10 years and is based on data on registered and anonymized accidents, their characteristics and consequences for the production process. The analysis includes classification of accidents by type, causes and consequences, as well as assessment of their impact on labor safety and equipment operation. The revealed regularities allow to determine the most vulnerable areas in the safety management system and to offer recommendations on improvement of preventive measures. The results of the study can be useful both for specialists in the field of power engineering and for researchers dealing with occupational safety issues.

Ключевые слова: система управления рисками и внутреннего контроля, анализ, авария, причины, дефекты, человеческий фактор.

Key words: Risk management and internal control system, analysis, accident, causes, defects, human factor.

ПАО «ТГК-1» (Территориальная генерирующая компания №1) является одним из крупнейших производителей электроэнергии и тепла в России. Обеспечение надежности и безопасности работы энергетических объектов имеет решающее значение для стабильного функционирования как самой компании, так и энергосистемы страны в целом. В связи с этим, анализ аварий, их причин и последствий представляет собой актуальную задачу, направленную на повышение уровня безопасности и эффективности работы предприятия.

Система управления рисками и внутреннего контроля (СУРиВК) – совокупность взаимосвязанных организационных мер и процессов, организационной структуры, локальных нормативных актов Общества и организаций Группы Газпром, иных документов, методик и процедур (положения, регламенты, стандарты и методические указания), норм корпоративной культуры и действий, предпринимаемых работниками структурных подразделений Общества и организаций Группы Газпром, направленная на обеспечение достаточных гарантий достижения целей и решения задач, а также поддержку работников структурных подразделений Общества и организаций Группы Газпром при принятии решений в условиях неопределенности.[1]

1. Методология

Для проведения исследования были собраны данные о произошедших авариях на ПАО «ТГК-1» за последние десять лет. Информация была

получена из обезличенных актов внутренних расследований и статистических отчетов предприятия. Аварии были классифицированы по следующим критериям:

- Тип аварии (механические, электрические, технологические и др.).
- Причины возникновения (человеческий фактор, дефект монтажа, несвоевременное ТО и др.).
- Последствия (влияние на безопасность труда, экономические потери, влияние на окружающую среду).

2. Полученные результаты

2.1 Статистика аварий

За рассматриваемый период на ПАО «ТГК-1» было зарегистрировано 129 аварий. Наибольшее количество инцидентов связано с ошибками операторов (37%), за ними следуют механические неисправности (27%) и ошибками в документации (17%). Остальные 19% составляют внешние воздействия (например, воздействия животных и птиц). [2]

2.2 Причины возникновения

Анализ показал, что основными причинами аварий являются:

- Человеческий фактор (55%): ошибки операторов, недостаточная квалификация, нарушение регламентов.
- Технические неисправности (30%): устаревшее оборудование, недостаточные меры по профилактике.
- Внешние факторы (15%): природные катастрофы, недостаточная защита от внешних воздействий.

Линейчатая диаграмма и сводная таблица представлены ниже.

Таблица 1

Сводная таблица

Названия строк	Количество по полю Характер аварии
Попадание инородных предметов	1
Воздействие животных и птиц	1
Недостатки рабочей документации	1
Несоблюдение сроков ТО	2
Нарушение электрического контакта	4
Несвоевременное устранение дефектов	5
Дефекты изготовления	6
Дефекты монтажа	6
Недостатки конструкции	15
Недостатки проекта	15
Дефекты проекта	25
Человеческий фактор	48
Общий итог	129



Рис. 1. - Линейчатая диаграмма

Выявленные результаты показывают, что основное внимание необходимо уделить улучшению квалификации персонала и модернизации оборудования. Проблемы, связанные с человеческим фактором, требуют системного подхода к обучению и повышению культуры безопасности на предприятии. Внедрение современных систем мониторинга и диагностики оборудования также может значительно снизить вероятность аварий, связанных с техническими неисправностями. Более наглядно можно увидеть на линейчатой диаграмме (рисунок 1).

Рассмотрим подробнее основные аспекты, связанные с ошибками персонала:

1. Неправильные действия при выполнении операций

Персонал может допускать ошибки в процессе выполнения технологических операций, таких как:

- Неправильное переключение оборудования: Это может произойти из-за недостаточной концентрации или отсутствия четких инструкций. Например, неверное переключение на резервный источник энергии может привести к отключению основных систем.
- Необоснованные действия в аварийных ситуациях: в условиях стресса и неопределенности сотрудники могут принимать решения, которые усугубляют ситуацию, например, игнорировать предписанные процедуры.

2. Недостаток квалификации и обучения

Ошибки персонала также могут быть связаны с недостаточным уровнем подготовки:

- Недостаточное обучение: Если работники не прошли должное обучение по эксплуатации оборудования или не знакомы с новыми технологиями, это может привести к ошибкам при выполнении своих обязанностей.

- Отсутствие регулярных тренировок: Регулярные тренировки и симуляции аварийных ситуаций помогают подготовить персонал к реальным вызовам. Отсутствие таких мероприятий снижает уверенность сотрудников в своих действиях.

3. Игнорирование инструкций и регламентов

Соблюдение установленных инструкций и регламентов является критически важным для обеспечения безопасности:

- Нарушение процедур: Персонал может игнорировать или недооценивать важность соблюдения технологических регламентов, что приводит к повышенному риску аварий.
- Неактуальные инструкции: Если инструкции не обновляются в соответствии с изменениями в оборудовании или технологиях, это может привести к их неправильному применению.

4. Психологические факторы

Психологические аспекты также играют важную роль в возникновении ошибок:

- Стресс и усталость: Высокая нагрузка на сотрудников, длительные смены и недостаток отдыха могут привести к усталости и снижению концентрации, что увеличивает вероятность ошибок.
- Недостаточная мотивация: Если работники не видят смысла в соблюдении правил безопасности или не чувствуют ответственности за свои действия, это может привести к халатности.

5. Командная работа и коммуникация

Ошибки могут возникать также из-за недостатков в командной работе:

- Проблемы в коммуникации: Неправильная или недостаточная передача информации между членами команды может привести к недопониманиям и ошибкам при выполнении операций.
- Отсутствие четкой роли: Неясность в распределении обязанностей может вызвать путаницу и привести к тому, что важные задачи останутся невыполненными. [3]

–

2.3 Последствия аварий

Последствия аварий на ПАО «ТГК-1» варьируются от временной остановки оборудования до серьезных экономических потерь и угрозы безопасности сотрудников. В среднем, каждая авария приводит к:

- Простою оборудования на срок от 3 до 10 дней.
- Экономическим потерям, оцениваемым в миллионы рублей.
- Возможным травмам сотрудников, что требует дополнительной оценки рисков и разработки мер по повышению безопасности.

При оценке экономической части потерь можем привести реальные цифры за одни из самых показательных годов. Так в сравнении за 2014 год в компании ПАО «ТГК-1» потери от аварий по ТЭЦ составили 29 млн. руб., в тоже время за 2024 год потери составили 331 млн. руб. Что превы-

сило на 1141% от потерь за 2014 год. Для наглядности приведем данные в виде ступенчатой диаграммы (рисунок 2)

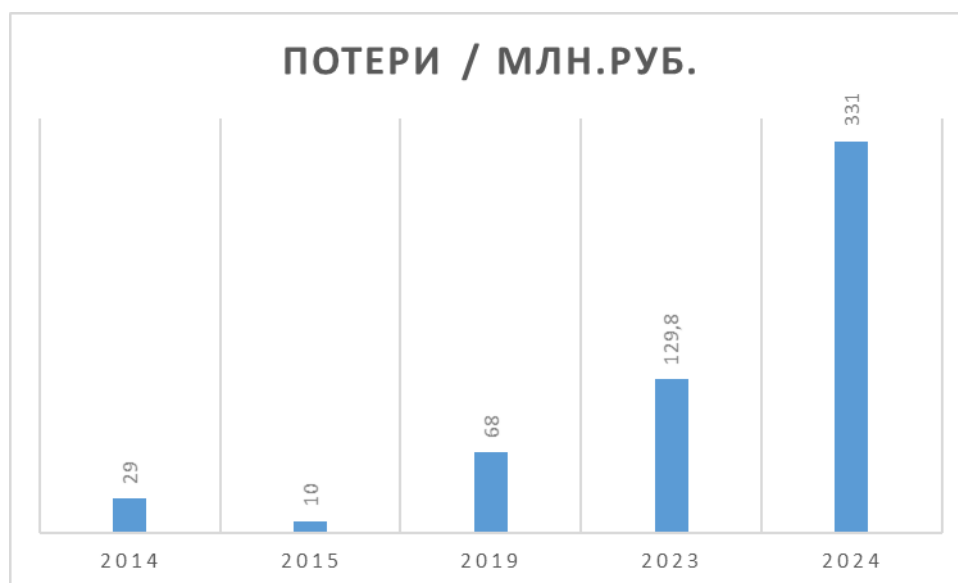


Рис. 2. - Экономические потери

3. Рекомендации

На основе проведенного анализа можно предложить следующие меры по улучшению системы управления безопасностью на ПАО «ТГК-1»:

1. Проведение регулярных тренингов и аттестаций для операторов и технического персонала.
2. Модернизация устаревшего оборудования и внедрение новых технологий.
3. Разработка и внедрение системы мониторинга состояния оборудования в реальном времени.
4. Установление четких регламентов и протоколов действий в случае возникновения аварийной ситуации.

Библиографический список

1. Политика управления рисками и внутреннего контроля ПАО «Газпром»: утв. решением Совета директоров ПАО «Газпром» от 25 дек. 2018 г. № 3195.
2. Longerstaey J. RiskMetrics™. [Электронный ресурс]: J. P. Morgan, Reuters. 1996. С. 223. URL: <https://www.msci.com/documents/10199/5915b101-4206-4ba0-aee2-3449d5c7e95a>. (дата обращения: 15.02.2025).
3. Анализ риска аварий на опасных производственных объектах – ключевая составляющая управления промышленной безопасностью [Электронный ресурс] // СМИС Эксперт: [сайт]. – URL: <https://smis-expert.com/blog/primenenie-metodov-analiza-opasnosti-i-otsenki-riska-avariy-na-opo/> (дата обращения: 15.02.2025).

С. П. Хабаров, кандидат технических наук, доцент
Кафедра информационных систем и технологий
СПб ГЛТУ им. С.М.Кирова
serg.habarov@mail.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ ГЛОБАЛЬНОГО ОБНОВЛЕНИЯ ФЕРОМОНОВ В АЛГОРИТМАХ МУРАВЬИНЫХ КОЛОНИЙ

RESEARCH ON GLOBAL PHEROMONE UPDATE METHODS IN ANT COLONY ALGORITHMS

***Аннотация.** В статье исследуются методы глобального обновления феромонов в алгоритме муравьиных колоний для решения задачи о рюкзаке. Среди пяти изученных методов наиболее эффективным оказался метод средних значений, обеспечивающий высокое качество решений, ускорение процесса оптимизации и снижение риска получения субоптимальных результатов.*

***Abstract.** The article examines methods of global pheromone update in the ant colony optimization algorithm for solving the knapsack problem. Among the five methods studied, the most effective was the average-value method, which ensures high solution quality, faster optimization, and a reduced risk of suboptimal results.*

***Ключевые слова:** алгоритм муравьиной колонии, глобальное обновление феромонов, задача о рюкзаке, метод средних значений, комбинаторика.*

***Keywords:** ant colony algorithm, global pheromone update, knapsack problem, average value method, combinatorial problems.*

Роевой интеллект представляет собой одно из направлений в разработке современных интеллектуальных систем. Его основой служат алгоритмы, моделирующие коллективное поведение стай животных и насекомых. Наибольшее распространение получили три метода: оптимизация муравьиных колоний, пчелиных колоний и алгоритм летучих мышей [1, 2, 3].

Основная цель роевого интеллекта состоит в эффективном решении сложных задач. Хотя отдельные агенты, такие как муравьи или пчёлы, обладают ограниченными возможностями, их коллективное взаимодействие позволяет находить оптимальные решения. В основе этого подхода лежит создание локальных решений множеством агентов, на основе которых формируется глобальное решение, постепенно приближающееся к оптимальному. Такой подход реализует принцип "снизу вверх" и обеспечивает высокую адаптивность и гибкость в решении задач.

Среди методов роевого интеллекта алгоритм оптимизации муравьиных колоний (ACO, Ant Colony Optimization) является одним из наиболее

известных. Он основан на механизме коллективного взаимодействия, где муравьи координируют действия через испарение и обновление феромонов, находя оптимальные пути к источникам пищи [4, 5]. Алгоритмы АСО находят применение при решении задач маршрутизации, планирования, распределения ресурсов и других задач дискретной оптимизации. Эффективность алгоритмов АСО проявляется при поиске кратчайших путей в графах и решении задач коммивояжера [6, 7]. Это особенно важно для сетевых коммуникаций и робототехники. Преимуществом АСО является его естественная пригодность для распараллеливания вычислений, что позволяет значительно ускорить обработку данных [8, 9].

Одной из популярных задач комбинаторной оптимизации является задача о рюкзаке. Её суть состоит в выборе оптимального набора предметов при ограничениях по весу или объёму, с целью максимизации полезности или стоимости. Эта задача широко используется в производственных и прикладных областях, включая оптимизацию загрузки транспорта, выбор материалов для производства и управление складскими запасами.

Постановка задачи

Применения алгоритмов АСО к задачам комбинаторной оптимизации, типа задачи о рюкзаке, требует их адаптации под специфику конкретной задачи. Одним из ключевых элементов является настройка механизма обновления феромонов. Этот процесс играет важную роль в корректировке поведения муравьёв, помогая алгоритму находить оптимальные решения.

Обновление феромонов осуществляется на основе качества найденных решений, позволяя алгоритму извлекать опыт из предыдущих итераций, усиливая перспективные направления поиска и ослабляя неэффективные. Обычно обновление феромонов описывается следующим образом:

$$\tau_i^{(t+1)} = (1 - \rho)\tau_i^{(t)} + \sum_{k=1}^n \Delta\tau_i^{(k)}$$

где $\tau_i^{(t)}$ – уровень феромона на элементе i в момент времени t ; $\Delta\tau_i^{(k)} = \frac{Q}{V_k}$ – изменение феромона, зависящее от качества решения V_k , найденного муравьём k ; Q – положительная константа, задающая масштаб обновления феромонов; ρ – коэффициент испарения феромона.

Эта формула объединяет два процесса: испарение феромонов, которое предотвращает чрезмерное их накопление и добавление новых феромонов на основе успешных решений, что усиливает перспективные направления поиска. Различают два основных подхода к обновлению феромонов:

Локальное обновление феромонов. Их изменения происходят во время построения решения. Они обновляются на каждом этапе пути муравья, что позволяет им влиять на последующие решения.

Глобальное обновление феромонов. Изменения феромонов происходят после завершения построения всех решений за итерацию. Это позволя-

ет учитывать качество всех решений, найденных муравьями, и корректировать феромоны на основе этого.

Глобальное обновление оказывает более значительное влияние при решении сложных задач, таких как поиск оптимального маршрута в графе или оптимизация систем. Оно позволяет использовать информацию обо всех путях, избегать преждевременной фиксации на субоптимальных решениях и повышать вероятность нахождения глобального оптимума. Цель данной статьи – это оценка эффективности методов глобального обновления феромонов и исследование пяти наиболее известных метода.

Методы глобального обновления феромонов

1. *Обновление феромонов без итерационного улучшения* (Plain Update). Муравьи обновляют феромоны на основе своих решений. Каждый элемент, через который прошёл муравей, получает дополнительное количество феромонов пропорционально обратному значению качества решения. Простейший способ, который не учитывает лучший путь в итерации.

$$\tau_i(t+1) = \tau_i(t) + \sum_{k=1}^N \frac{Q}{V_k}$$

где $\tau_i(t)$ – количество феромонов на элементе i в текущий момент времени, N – количество муравьев, V_k – значение решения, найденное конкретным муравьем k , Q — константа.

2. *Итерационное наилучшее решение* (Iteration Best Update). В этом методе феромоны обновляются только на основе пути лучшего муравья, который нашёл лучшее решение за итерацию. Это позволяет сосредоточить внимание на наиболее успешных путях.

$$\tau_i(t+1) = \tau_i(t) + \frac{Q}{V_{best}}$$

где V_{best} – значение лучшего решения, найденного за итерацию.

3. *Среднее значение решений* (Average Solution Update). Обновление на основе среднего значения всех решений, найденных муравьями. Это позволяет учитывать общий уровень качества решений и делает обновление менее чувствительным к одиночным экстремальным решениям.

$$\tau_i(t+1) = \tau_i(t) + \frac{Q}{\bar{V}}$$

где $\bar{V}$ – среднее значение всех найденных решений за итерацию, то есть

$$\bar{V} = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N V_k$$

4. *Несколько лучших решений* (Top-n Solutions Update). В этом методе феромоны обновляются на основе нескольких лучших решений за итера-

цию. Это позволяет использовать несколько успешных путей для улучшения поиска.

$$\tau_i(t+1) = \tau_i(t) + \sum_{k=1}^n \frac{Q}{V_{best_k}}$$

где n – количество лучших решений, используемых для обновления, а V_{best} – значение k -го лучшего решения, найденного за итерацию.

5. *Среднее значение* (Mean Value Update). В этом методе значение Q используется как среднее значение всех решений. Феромоны обновляются с учётом качества решений каждого муравья, но коэффициент Q равен среднему значению всех решений.

$$\tau_i(t+1) = \tau_i(t) + \sum_{k=1}^N \frac{\bar{Q}}{V_k}$$

где $\bar{Q}$ – среднее значение всех решений за итерацию, то есть $\bar{Q} = \bar{V}$, а V_k – значение решения, найденное k -м муравьем.

Каждый из этих методов имеет свои особенности и может быть более или менее эффективен в зависимости от типа задачи и её требований. Общим для всех этих подходов является то, что все они включают в себя механизм добавления феромонов на основе значений решений, найденных муравьями.

Анализ методов глобального обновления феромонов

Для проведения анализа используем модель [10], в которой решалась задача: “Дано N участков лесного фонда, каждый из которых имеет площадь w_i и объем биомассы v_i , где $i = 1, 2, \dots, N$ – это номер участка. Требуется определить подмножество участков $S \subseteq \{1, 2, \dots, N\}$ так, чтобы их суммарная площадь не превышала заданного значения W , определенного объемом финансированием на плановые работы”.

В статье [10] для случая 80 участков лесного фонда и коэффициента веса эвристической информации $\beta = 2$ было получено, что ни один из 50 запусков программы при 10 муравьях и 10 итерациях не достиг оптимального решения, а полученные субоптимальные решения на 10-15% отличались от оптимального значения. Там же было показано, что значительного улучшения результатов можно добиться счет увеличения значения β . Попробуем выяснить, могут ли методы глобального обновления феромонов улучшить производительность АСО. С этой целью программную реализацию всех пяти методов глобального обновления феромонов интегрируем в основной код решения задачи и выполним тестирование исходной модели.

Исследование методов глобального обновления феромонов

Кол-во предметов = 80, $\beta = 2$, Кол-во итераций в АСО = 10,			
Метод обновления феромонов	Среднее время работы (сек)	Среднее отклонение от оптимума	Макс. отклонение от оптимума
1	0.623	921.78 (10.75%)	1283 (15%)
2	0.582	890.50 (10.38%)	1278 (15%)
3	0.603	931.24 (10.86%)	1376 (16%)
4	0.577	913.18 (10.65%)	1192 (14%)
5	0.732	27.90 (0.33%)	186 (2%)

Из анализа табл. 1 следует, что только один из методов обеспечил существенное улучшение работы алгоритма (рис. 1).

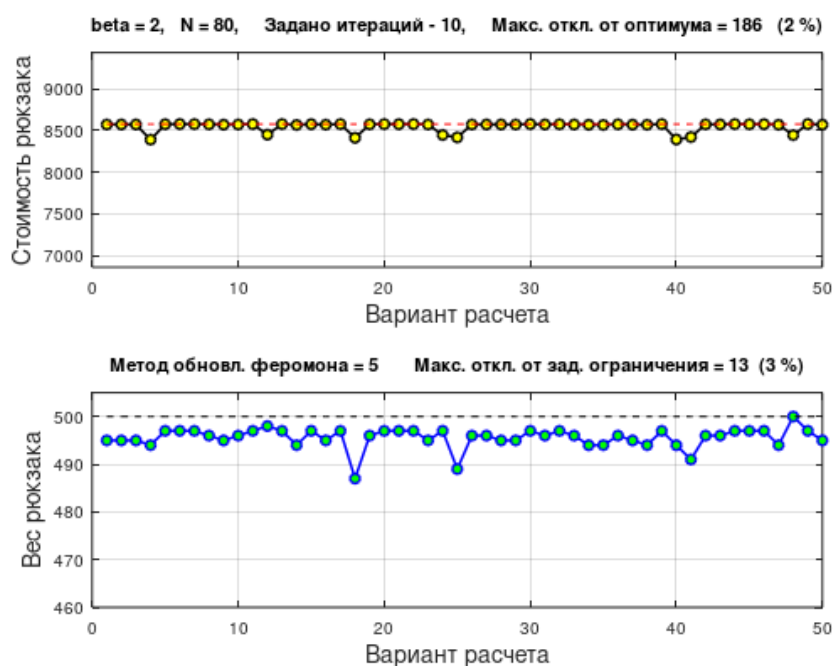


Рис. 1. - Метод Mean Value Update (80 участков, 10 итераций, $\beta=2$)

При использовании метода глобального обновления феромонов Mean Value Update удалось всего 10 муравьям за 10 итераций 42 раза из 50 запусков программы (84%) найти оптимальные решения, в остальных случаях решения отличались от оптимальных решений не более, чем на 2%.

Все остальные методы глобального обновления ничем не превосходили классический метод обновления феромонов без итерационного улучшения (Plain Update). Поэтому далее будет рассмотрен сравнительный анализ только этих двух методов, с акцентом на возможности применения метода средних значений для различных случайно генерируемых наборов данных, состоящих из 100, 200, 500 и 1000 предметов, которые требуется разместить в рюкзаке.

С этой целью в исходный программный код была добавлена функция, которая, приняв параметр, указывающий количество предметов, воз-

вращает три массива: v – массив стоимостей предметов, w – массив весов предметов и W – максимальный допустимый вес рюкзака. Но чтобы проводить тестирование и оценку эффективности различных методов надо знать точные оптимальные решения. Используя метод динамического проектирования, можно получить точные значения оптимальных решений для сгенерированных наборов данных (табл. 2).

Таблица 2

Результаты решения задачи о рюкзаке точным методом

Количество предметов в наборе	Время решения, сек		Суммарная стоимость рюкзака	Суммарный вес рюкзака
	Мат. ожидание	СКО		
20	1.08	0.028	3516	498
50	2.68	0.011	5873	500
100	5.73	0.453	7116	497
200	11.42	0.000	10704	500
500	27.35	0.758	12648	500
1000	54.35	0.875	14047	500

Имея данные таблицы 2 можно перейти к тестированию работы метода средних значений для адаптивного обновления уровня феромонов и оценке качества его работы на сгенерированных наборах данных.

Результаты анализа метода средних значений

Задача о рюкзаке требует значительных вычислительных ресурсов и времени для поиска точного решения. Муравьиные алгоритмы направлены на преодоление этой проблемы, заменяя поиск идеальных решений нахождение приемлемых решений, но за относительно короткое время. Ключевыми метриками для оценки работы алгоритмов АСО являются точность решения, время выполнения и близость найденного решения к оптимальному значению.

Если муравьи найдут результат в пределах 1-3% от известного решения, то в большинстве прикладных задач он может считаться успешным. Исходя из этого вариант, представленный на рис. 1, уже может быть занесен в положительный баланс метода средних значений. Проведем аналогичные тесты и с другими наборами данных.

Для этого используем колонию всего из 10 муравьев. Они в течение всего 10 итераций должны будут оптимизировать рюкзак, используя классический метод глобального обновления феромонов и метод средних значений. При этом оценивать еще и влияние на качество результата степени учета эмпирической информации. Результаты, полученные на основе выполнения 50 циклов АСО для каждого из вариантов, приведены в табл. 3.

Таблица 3

Сравнение двух методов глобального обновления феромонов

Кол-во предметов	Индекс метода	β	Средн. время работы (сек)	Средн. отклонения от оптимума	Макс. отклонения. от оптимума
Кол-во итераций в АСО = 10, Кол-во муравьев = 10					
100	1	2	0.57	776.2	10.9%
100	5	2	0.70	67.5	0.94%
100	1	5	0.78	55.0	0.77%
100	5	5	0.20	2.25	0.03%
200	1	2	0.73	1719	16%
200	5	2	0.96	252.9	2.4%
200	1	5	1.20	199.3	1.9%
200	5	5	0.92	17.35	0.1%
500	1	2	0.81	3464	27%
500	5	2	1.19	513.5	4.1%
500	1	5	1.36	486.6	3.5%
500	5	5	1.42	75	0.6%
1000	1	2	1.05	4933	35%
1000	5	2	1.39	1035	7.4%
1000	1	5	1.83	904.6	6.4%
1000	5	5	2.07	129.8	0.9%
100 *	5	5	В этом режиме было получено 85% точных решений		

Из табл.3 видно, что метод средних значений (метод 5) на всех наборах дает лучшие результаты по среднему и максимальному отклонению от оптимума, чем классический метод (метод 1). При большом числе предметов в случае $\beta = 2$ классический метод вообще не справляется с задачей, и только увеличение β позволяет получить приемлемые результаты.

Также из табл. 3 следует, что более весомый учет эмпирической информации ($\beta = 5$) позволяет в несколько раз повысить качество получаемых решения для каждого из методов обновления феромонов.

Практически все полученные результаты АСО лежат в области допустимой инженерной погрешности (10%), а многие из них попадают в 1-3% область, занимая время в разы меньшее, чем аналитические методы. Например, для 1000 предметов АСО дает с точностью 98% результат за время в 27 раз меньшее, чем метод динамического программирования.

Подводя итог сравнению методов обновления феромонов, можно сказать, что использование метода средних значений с повышенным коэффициентом β является предпочтительным, так как обеспечивает более высокую точность и качество решений при относительно небольшом времени

выполнения, что особенно важно при решении сложных оптимизационных задач (рисунок 2).

При этом надо подчеркнуть, что все полученные результаты не являются точными оптимальными решениями, а только их 1-3% приближениями, что может быть достаточно для большинства практических задач с огромным набором исходных данных. Для поиска точных решений требуется больше итераций, муравьев и настройки параметров АСО, что вызовет и увеличение затрат времени на поиск решения.

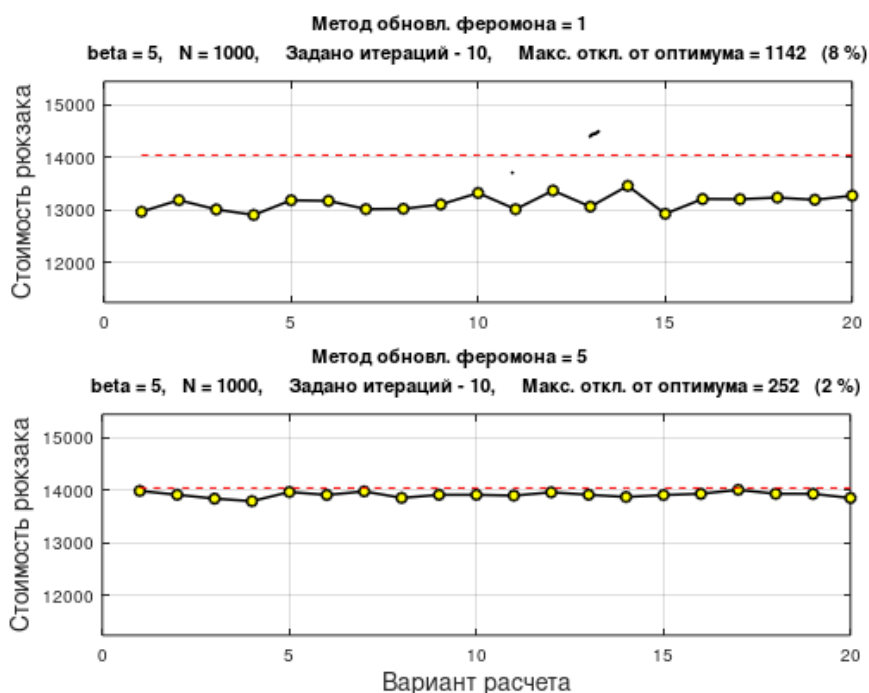


Рис 2. - Вариант 1000 предметов (10 итераций, 10 муравьев и $\beta=5$).

Затраты времени работы муравьиного алгоритма на поиск оптимальных решений рассмотрим на наборе данных из 100 предметов, для которого известны некоторые результаты. Для проведения анализа затрат времени снимем в основном коде ограничения на количество выполняемых итераций, а в самом алгоритме АСО предусмотрим выход из основного цикла при достижении решения, которое будет равно оптимальному значению. Это значение нам известно из предварительного расчета методом динамического программирования. Результат двадцати обращений к коду АСО, который настроен на классический метод обновления феромонов, и в котором предусмотрено изменение параметра β , представлен на рисунке 3.

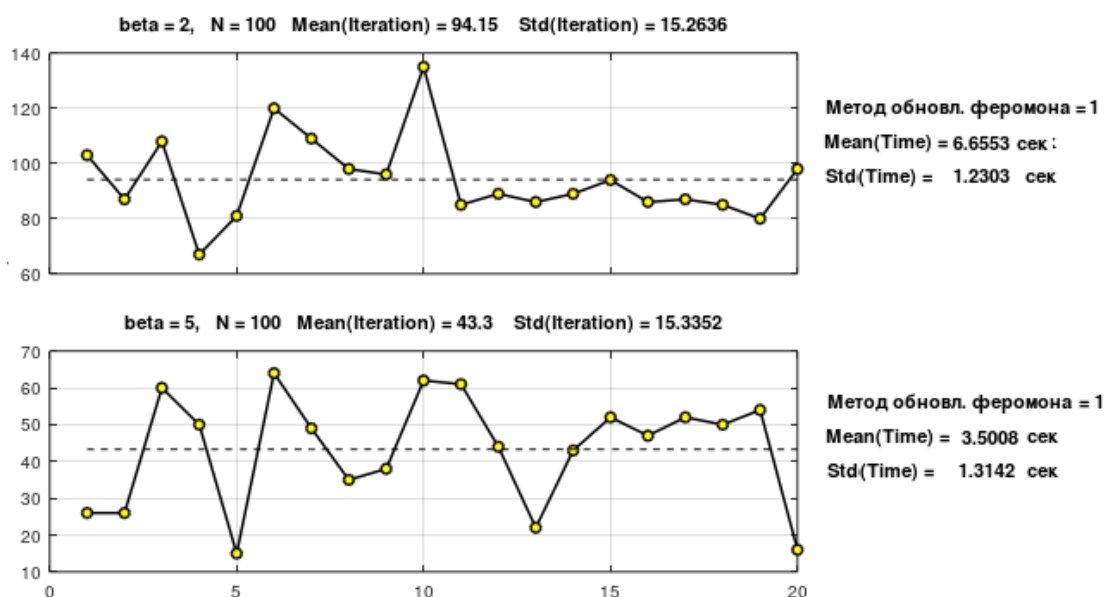


Рис.3. - Поиск оптимального решения с использованием метода 1

На основе представленных данных можно сделать вывод, что АСО с классическим методом обновления феромона позволяет при использовании 10 муравьев и стандартных настройках алгоритма находить оптимальные решения для набора данных из 100 предметов.

Скорость достижения оптимального решения существенно зависит от величины параметра β , и составляет 6.7 ± 1.23 секунд в первом случае и 3.5 ± 1.31 секунд во втором случае. Изменение практически в два раза. Если вспомнить, что точное решение было получено за 5.73 ± 0.453 секунды, то результат можно уже признать удовлетворительным.

Однако существенного прогресса в скорости работы АСО можно добиться, если перейти на метод средних значений, который без повышения значения β обеспечивает примерно такой же статистический результат. Но к нему надо относиться с осторожностью. Дело в том, что обеспечивая быструю сходимость поиска решения, метод средних значений имеет тенденцию к залипанию на локальных максимумах, что можно видеть на рис. 4 при двенадцатом запуске алгоритма.

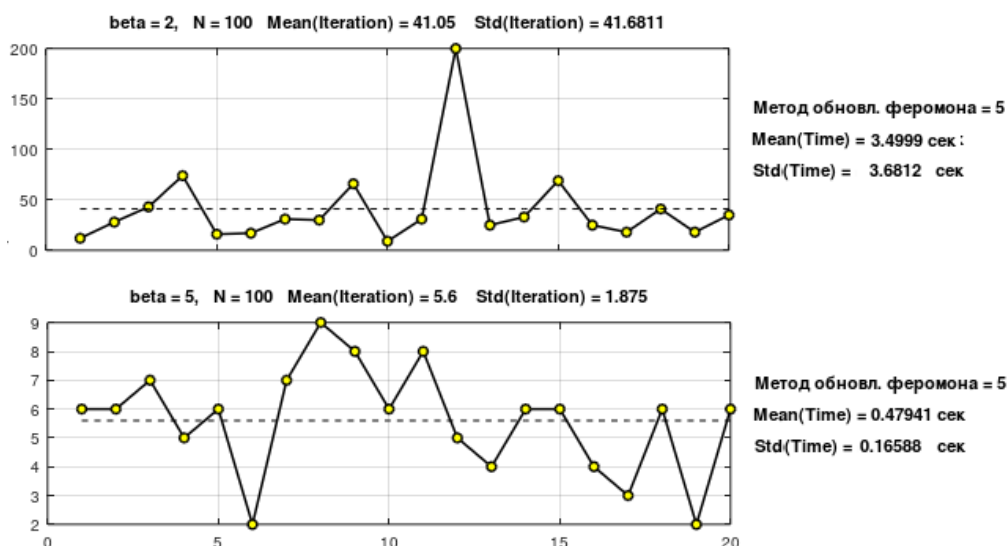


Рис. 4. - Поиск оптимального решения с использованием метода 5

Точка на графике информирует лишь о том, что АСО просто достиг установленного в коде максимального ограничения по числу итераций, не найдя до двухсотой итерации оптимального решения.

Значительно лучше дело обстоит в случае использования метода средних значений с параметром $\beta = 5$. Этот пример демонстрирует способность алгоритма АСО находить оптимальное решение за время меньшее 0.5 секунды, что почти в 10 раз быстрее аналитического метода.

Следует отметить, что и на больших наборах данных АСО также работает значительно быстрее динамического программирования (рисунок 5).

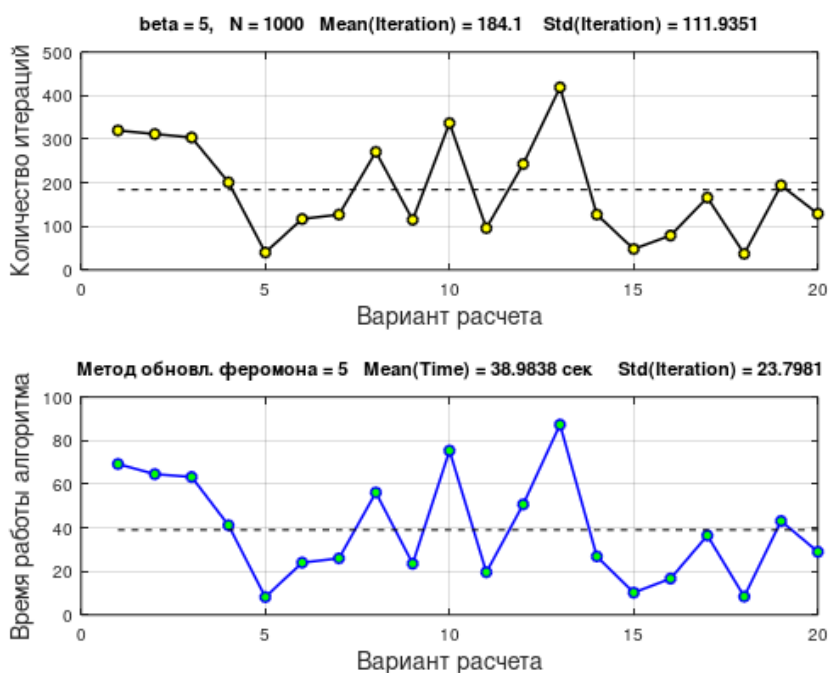


Рис. 5. - Поиск оптимального решения среди 1000 предметов.

Подводя итоги, надо особо подчеркнуть, что анализ методов глобального обновления феромонов показал, что из пяти исследованных методов только метод средних значений значительно улучшает производительность алгоритма муравьиной колонии при решении задачи о рюкзаке. В частности, при тестировании на наборе из 80 предметов этот метод позволил достигать оптимальных решений в 84% случаев. В других случаях отклонения от оптимума были минимальны, не превышая 1-2%.

Выводы

Преимущества метода средних значений проявляются особенно ярко при увеличении числа предметов. На всех протестированных наборах данных (100, 200, 500 и 1000 предметов) данный метод демонстрировал лучшее среднее и максимальное отклонение от оптимума по сравнению с классическим методом. Более того, для рассматриваемого класса задач при увеличении значения β качество решений значительно возрастало для обоих методов обновления феромонов, что указывает на важность параметра веса эмпирической информации.

Метод средних значений оказался особенно эффективен для больших наборов данных, позволяя получать решения с точностью до 98% за время в 27 раз меньшее, чем метод динамического программирования. Это делает его предпочтительным для задач, требующих быстрого получения приближенных решений с допустимой погрешностью.

Однако стоит отметить, что, несмотря на высокую скорость сходимости, метод средних значений склонен к залипанию на локальных максимумах, что требует осторожности при его применении. Для предотвращения этой проблемы можно использовать стратегии, такие как введение случайных пертурбаций в процесс обновления феромонов или периодическое изменение значения β , чтобы стимулировать более широкий поиск решений и избежать преждевременной сходимости.

Проведенный анализ показал, что, несмотря на стохастическую природу поиска, АСО дает стабильные и качественные результаты, приближаясь к оптимальным решениям даже в сложных сценариях. Предложенный подход с использованием АСО показывает значительные перспективы для практических приложений, особенно при решении траекторных задач, проектировании беспроводных сетей и маршрутизации данных.

Библиографический список

1. Swarm intelligence. [Электронный ресурс]. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Swarm_intelligence (дата обращения: 05.01.2025).
2. Ислам, Т., Ислам, М. и Рухин, М. Анализ поведения фуражировки и эхолокации алгоритмов роевого интеллекта в оптимизации: АСО, ВСО и ВА. Международный журнал науки об интеллекте, 2018, vol.8, p.1-27.
3. Популяционные алгоритмы оптимизации: Искусственная Пчелиная Колония (Artificial Bee Colony – ABC). [Электронный ресурс]. URL: <https://www.mql5.com/ru/articles/11736> (дата обращение: 05.01.2025).

4. Dorigo M., Stützle T. Ant Colony Optimization //MIT Press. – 2004. – 321с.
5. Штовба, С. Д. Муравьиные алгоритмы: теория и применение // Программирование. – 2005. – Т. 31, № 4. – С.3-18. – EDN HSCQV.
6. Хабаров, С. П. Особенности реализации алгоритма муравьиной колонии для обобщённой задачи коммивояжёра / С. П. Хабаров // Рефлексия. – 2024. – № 5. – С. 15-20. – EDN GQRDHI.
7. Хабаров, С. П. Анализ возможности применения муравьиных алгоритмов для решения логистических задач// Естественные и технические науки: обсуждение проблем, пути совершенствования: Сборник научных статей. - Ульяновск, "Зебра", 2024. - С. 40-45.- EDN OFLINI.
8. Микулик, И. И. Распараллеливание гибридного алгоритма муравьиной колонии с изменяющимися с помощью генетического алгоритма параметрами // Проблемы информатики. – 2023. – № 2(59). – С. 86-94.
9. Вагизов, М. Р., Хабаров С. П. Распараллеливание алгоритма муравьиной колонии на примере задачи о рюкзаке с использованием Python // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. – 2024. – Т. 26, № 5. – С. 73-83. – EDN IBXKOR.
10. Хабаров, С. П. Реализация в Octave муравьиного подхода к распределению ресурсов лесного фонда / С. П. Хабаров // Технические и естественные науки: вчера, сегодня, завтра : Сборник научных статей. – Волгоград, ООО "Сфера", 2024. – С. 8-15..

А. Г. Шпекторов, кандидат технических наук, доцент
Кафедра корабельных систем управления
СПбГЭТУ «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова-Ленина
agshpectorov@etu.ru

С. П. Хабаров, кандидат технических наук, доцент
Кафедра информационных систем и технологий
СПб ГЛТУ им. С.М.Кирова
serg.habarov@mail.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ АЛГОРИТМА МУРАВЬИНОЙ КОЛОНИИ ДЛЯ ЗАДАЧ НЕПРЕРЫВНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ

The STUDY OF ANT COLONY ALGORITHM FOR CONTINUOUS OPTIMISATION PROBLEMS

***Аннотация.** В статье рассматриваются вопросы применения алгоритмов муравьиной колонии для задач непрерывной оптимизации. Классические муравьиные алгоритмы эффективно решают задачи дискретной оптимизации. Однако переход от дискретных задач оп-*

тимизации к непрерывным сопровождается рядом трудностей, в том числе на этапе формализации. Одним из вариантов такой адаптации является алгоритм ACOR, который исследуется в данной статье. Подробно изложены принципы формирования алгоритма, на примерах показан принцип действия. Приведены результаты работы алгоритма, анализ его достоинств и недостатков, оценка перспектив практического использования.

Abstract. The application of ant colony algorithms to continuous optimization problems is considered. It is known that classical ant algorithms efficiently solve discrete optimization problems. However the transfer from discrete to continuous optimization problems is accompanied by a number of complications, including the stage of formalization. One approach of such adaptation is the ACOR algorithm, which is investigated in this paper. The principles of algorithm formation are detailed, the principle of operation is shown on examples. The results of the algorithm, analysis of its advantages and disadvantages, evaluation of the prospects of practical application are given.

Ключевые слова: алгоритм муравьиной колонии, непрерывная оптимизация, теория вероятности, нормальное распределение

Keywords: ant colony algorithm, continuous optimization, probability theory, normal distribution.

Введение

Алгоритмы муравьиной колонии, либо муравьиные алгоритмы – это метаэвристические алгоритмы оптимизации, основанные на поведении муравьев в процессе поиска пищи. Эффективность поиска живой колонией муравьев обусловлена наличием следа феромонов, который оставляют муравьи при движении. Со временем субоптимальные маршруты приобретают более сильный уровень феромона за счет большего количества муравьев, на прочих маршрутах феромон испаряется, изначально случайный поиск становится упорядоченным. Муравьиные алгоритмы формализуют процессы усиления и испарения феромона, организуют поиск на основе его текущего состояния. Использование этих процессов позволяет решать задачи большой размерности, с которыми не справляются классические поисковые алгоритмы [1].

Специфика поведения муравьев обуславливает нацеленность алгоритмов на задачи дискретной или комбинаторной оптимизации: поиск кратчайшего пути на графе, задача коммивояжера, задача о рюкзаке и пр. Целесообразность применения муравьиных алгоритмов для подобных задач сейчас сомнений не вызывает. Поэтому также логичны попытки распространить муравьиные алгоритмы для решения задач непрерывной оптимизации. В данной работе исследуется один из подобных алгоритмов - ACOR (Ant Colony Optimization for Continuous Domain), описанный в литературе [2] и даже имеющий реализацию в виде библиотеки MATLAB [3].

Постановка задачи и описание алгоритма ACOR

Рассмотрим типовую задачу непрерывной оптимизации: требуется найти вектор $\hat{x} \in R^n$, доставляющий минимум некоторой скалярной целевой функции

$$f(x) \rightarrow \min, x \in X$$

где X – n -мерное множество, задающее область поиска. Наличие области поиска, вообще говоря, не является обязательным и вводится из практических соображений. Реализация муравьиного алгоритма, как и для задач дискретной оптимизации, должна включать следующие этапы:

1. Формализация состояния фона феромона в области поиска;
2. Построение решения на основе состояния фона;
3. Обновление состояния фона феромона.

Рассмотрим эти этапы более подробно.

1. Формализация состояния фона феромона в области поиска.

Пусть целевая функция качественно отображает пищевую ценность локаций в области поиска (т. е. чем меньше значение функции, тем больше или ценнее пища в данной точке). В отличие от дискретных задач оптимизации, муравьям не так важен маршрут к точке минимума, задача состоит в том, чтобы попасть в эту точку. Поэтому уровень феромона принято связывать с ценностью пищи, или значением целевой функции. Это первое существенное отличие алгоритма ACOR от дискретных алгоритмов АСО. Популяция муравьев по сути представляет собой набор аргументов целевой функции, сначала выбираемых случайным образом в области поиска. Каждый муравей вырабатывает уровень феромона в зависимости от ценности пищи, и информация об этом уровне фактически известна всей популяции.

Для формального описания этого процесса вводится понятие феромонного архива: для каждого муравья фиксируются его координаты x^j , значение целевой функции $f(x^j)$, а также его вес ω^j , характеризующий значимость муравья в данной популяции: чем меньше значение целевой функции $f(x^j)$, тем больше его вес. Такой архив может быть представлен в виде таблицы размером $k \times (n + 2)$, где k – количество муравьев в популяции. Таблица обычно хранится в отсортированном виде:

$$f(x^1) \leq f(x^2) \leq \dots \leq f(x^k).$$

Вес ω^j вычисляется по формуле нормального распределения

$$\omega^j = \frac{1}{qk\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{1}{2}\left(\frac{j-1}{qk}\right)^2\right),$$

где q – параметр алгоритма, регулирующий взвешивание. Математическое ожидание выбрано равным единице, поэтому формула гарантирует уменьшение весов для отсортированного архива: $\omega^1 \geq \omega^2 \geq \dots \geq \omega^k \dots$

Таким образом, задача поиска сводится к итерационному обновлению феромонного архива, в котором первая позиция соответствует наилучшему решению задачи оптимизации.

2. Построение решения на основе состояния фона феромона. На втором этапе алгоритма требуется сформировать стратегию, по которой будет организована процедура поиска на основе данных феромонного архива. Алгоритм ACOR предлагает следующую стратегию: колония отправляет в область поиска на помощь к базовой популяции «группу поддержки», которая берет образцы пищи в некоторой окрестности от муравьев базовой популяции. Окрестность зависит от того, насколько муравьи рассеяны по области поиска. Данную процедуру называют сэмплением (взятием образцов).

Таким образом, муравьиный алгоритм получает еще один параметр – количество муравьев группы поддержки (m). Для каждого муравья из этой группы нужно описать следующие действия: выбор одного из муравьев базовой популяции, расчет окрестности, исходя из расположения соседних муравьев, выбор новой точки поиска в случайном направлении.

Для жадного алгоритма целесообразно было бы всегда выбирать лучшие решения (первые позиции архива), однако это, очевидно, может привести к застреванию в локальном экстремуме. Поэтому выбор решения осуществляется по вероятностному принципу, вероятность выбора отдельного решения $p(x^j)$ определяется его весом:

$$p(x^j) = \frac{\omega^j}{\sum_{r=1}^k \omega^r}.$$

Далее необходимо определить новую точку поиска в окрестности решения x^j . Для этого целесообразно также использовать нормальное распределение, где математическим ожиданием выбрано решение x^j , а среднеквадратическое отклонение σ_i по i -й координате определяется средней дистанцией между решением x^j и прочими решениями:

$$\sigma_i = \xi D_i, D_i = \sum_{r=1}^k \frac{|x_i^j - x_i^r|}{k-1},$$

где ξ – параметр алгоритма, который можно трактовать как эквивалент скорости испарения феромона.

3. Обновление состояния фона феромона. На данный момент в области поиска присутствует $k + m$ решений. Новую популяцию сформируют лучшие k муравьев из объединения базовой популяции и «группы поддержки», они формируют феромонный архив для следующей итерации алгоритма. Остальные решения на данном этапе исключаются, т. е. муравьи возвращаются в «гнездо колонии» и ждут следующего сэмпирования. Формализация этапа сводится к объединению решений в общую таблицу, его сортировке и отсечению нижних m строк.

Таким образом, имеем следующие параметры муравьиного алгоритма для непрерывной оптимизации:

k – численность базовой популяции;

m – численность популяции сэмпирования;

q – параметр гауссовского взвешивания решений;

ξ – скорость испарения феромона.

Дополнительно должен присутствовать параметр для останова алгоритма. Можно, например, задавать количество итераций сэмпирования, ввести ограничение на разность между лучшим и худшим решением из архива, контролировать среднеквадратичное отклонение решений и пр.

Моделирование работы муравьиного алгоритма непрерывной оптимизации

Для демонстрации работы алгоритма ACOR выберем несколько функций из библиотеки стандартных тестовых функций с размерностью $n = 2$:

1) целевая функция Исома (Easom Function):

$$f(x_1, x_2) = -\cos(x_1)\cos(x_2)e^{-(x_1-\pi)^2-(x_2-\pi)^2}, \quad x_i \in [-10, 10]$$

2) функция «шестигорбый верблюд» (Six-Hump Camel Function):

$$f(x_1, x_2) = \left(4 - 2.1x_1^2 + \frac{x_1^4}{4}\right)x_1^2 + x_1x_2 + (4x_2^2 - 4)x_2^2, \quad x_i \in [-2, 2]$$

Функция Исома (рисунок 1) имеет несколько локальных минимумов на довольно ровной поверхности и один глобальный минимум в виде острого пика на малой площади. Функция «шестигорбый верблюд» (рисунок 2) имеет волнообразную форму и два глобальных минимума, расположенных симметрично от центра координат.

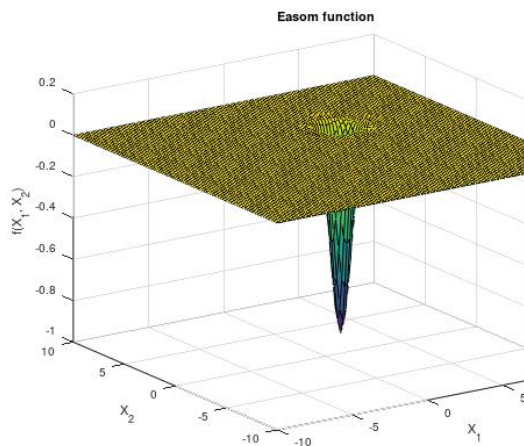


Рис.1. - Поверхность функции Исома

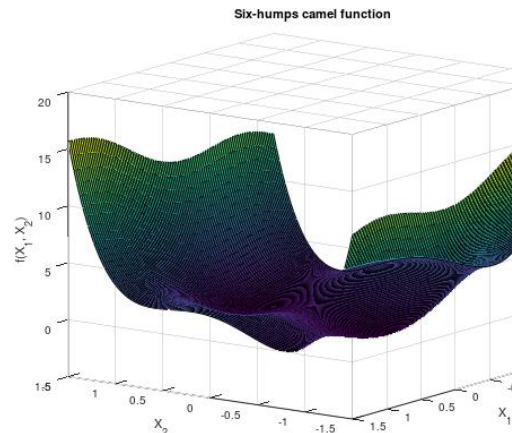


Рис. 2. - Поверхность функции «шестигорбый верблюд»

Для тестирования выбраны следующие параметры алгоритма: $k = 10, m = 20, q = 0.5, \xi = 0.5$. Сначала рассмотрим работу алгоритма для функции с одним глобальным оптимумом. На рисунке 3 показана первая итерация алгоритма: черными маркерами обозначена базовая популяция, красными маркерами – популяции сэмпирования. Синие линии уровня отмечают положение глобального минимума. На рисунке 4 приведены результаты случайного выбора решений при сэмпировании: по итерациям и в виде гистограммы.

Из рисунка 3 можно видеть, что муравьи/решения могут выйти за границы заданной области в процессе поиска: начальные точки строго заданы в пределах квадрата $[-10 \dots 10]$, а новые точки эти ограничения не учитывают. Это, безусловно, может оказаться полезным в том случае, когда область поиска заранее неизвестна. Если же требуется строго искать решения в заданной области, можно ввести дополнительную проверку в алгоритм и сразу исключить эти решения. Рисунок 4 демонстрирует умеренную жадность алгоритма: в 90% случаев выбирались решения из первой пятерки.

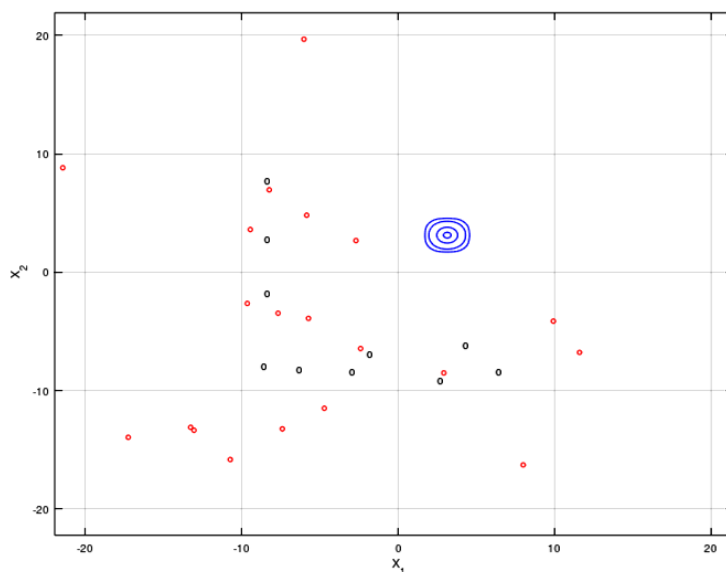


Рис. 3. - Первая итерация ACOR при оптимизации функции Исона

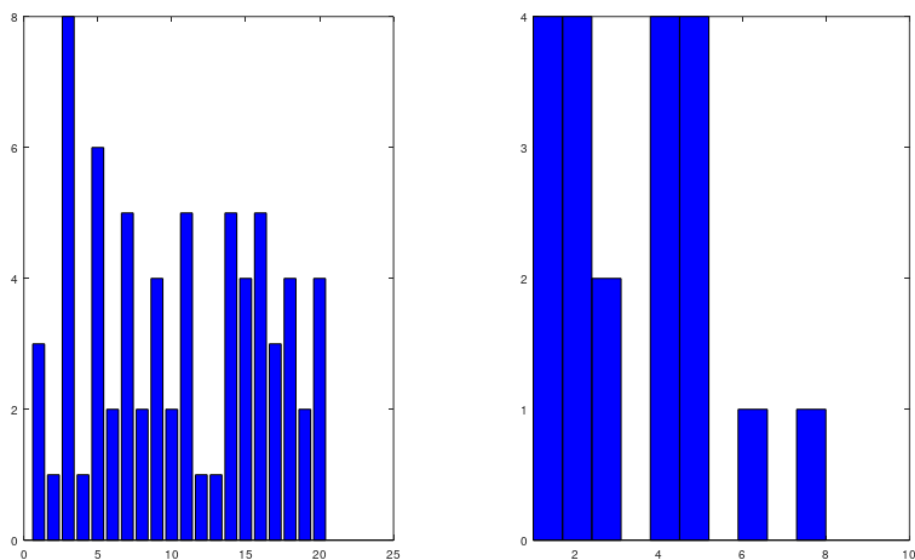


Рис. 4. - Иллюстрация случайного выбора решений для сэмплирования на первой итерации муравьиного алгоритма

На рисунке 5 показаны результаты работы алгоритма после десятой итерации: черными маркерами отмечены исходные решения, как и на

рис. 3, красными – лучшие решения, полученные после сэмплирования и отсеечения худших решений. Из рисунка видно, что алгоритм достаточно быстро находит оптимальное решение, даже при относительно неудачном стартовом наборе: по рис. 3 видно, что после первого сэмплирования решения не попадают в область глобального минимума. Однако при примерно равном уровне поверхности поиска сохраняется широкий разброс между решениями, поэтому площадь сэмплирования также велика. Раньше или позже решения начинают попадать в область, близкую к оптимуму, средняя дистанция для этих решений уменьшается, новые решения также формируются близко к оптимуму и вытесняют из популяции «разбросанные» случайные решения. Поиск ускоряется, еще через несколько итераций решения в популяции становятся практически неразличимы.

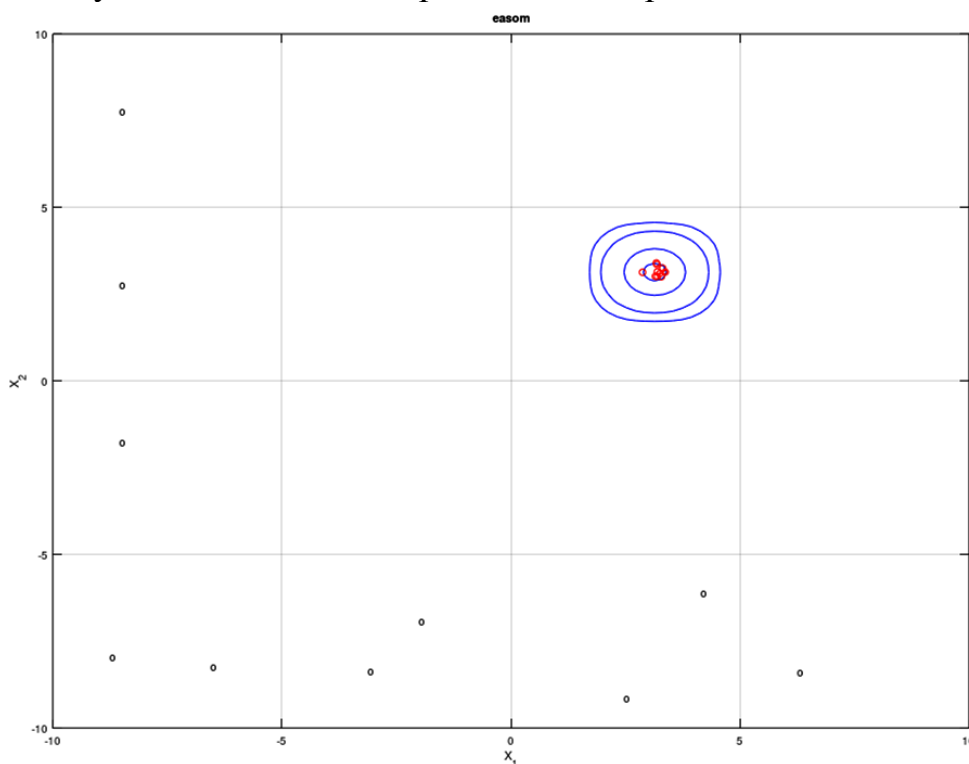


Рис. 5. - Результаты работы ACOR для оптимизации функции Исона после 10-й итерации

Теперь рассмотрим, как алгоритм ведет себя на функциях с несколькими оптимумами. На рисунке 6 приведены две реализации работы алгоритма после десяти итераций из одних и тех же стартовых позиций. Синие линии обозначают линии уровня и выделяют области экстремумов, черными маркерами показаны начальные положения решений, красными – конечные положения.

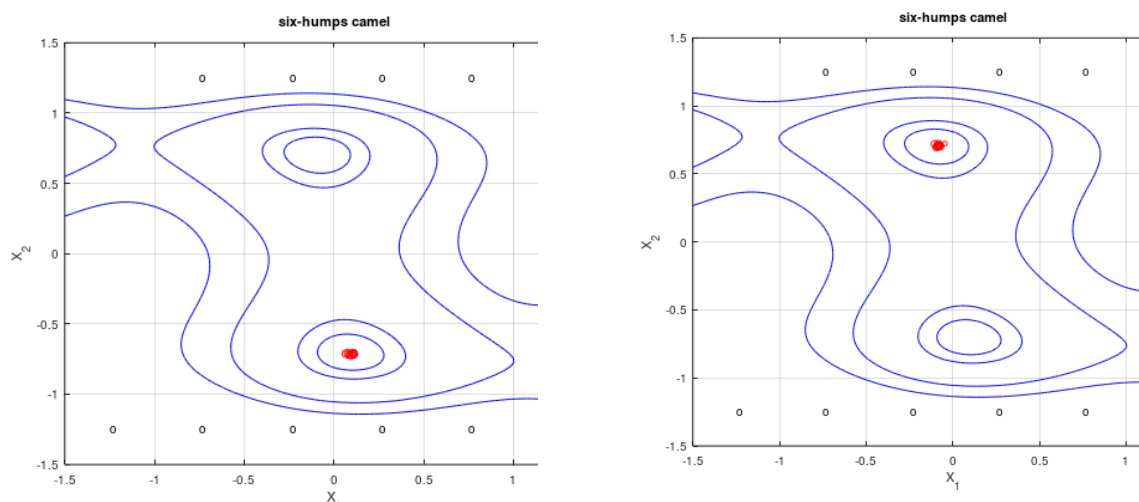


Рис. 6. Случайные реализации работы муравьиного алгоритма для оптимизации функции «шестигорбый верблюд» после 10-й итерации

Из рисунка 6 видно, что даже при одинаковом стартовом расположении муравьев/решений разные запуски расчета могут привести к разным результатам. Наиболее вероятный исход – решения сосредотачиваются около одного из глобальных оптимумов. Возникает «эффект выбивания»: если решения в процессе поиска концентрируются около обоих оптимумов, то более многочисленная группа перетягивает решения из малочисленной. Это обусловлено меньшей средней дистанцией для решений из многочисленной группы, соответственно, более узкой областью поиска, тогда как у малочисленной группы при сэмпировании есть большой разброс, и вероятность уточнить положение оптимума существенно меньше.

Однако возможен и такой исход: один-два решения случайно попадают очень близко к оптимуму, и их уже не выбить: они гарантированно остаются в популяции при отборе лучших решений. «Перетянуть» себе новые решения от другого оптимума им также сложно из-за большой средней дистанции до остальных точек, в итоге алгоритм может случайно найти оба оптимума. Но тогда нужно аккуратнее формировать условие останова алгоритма. Но в целом эффект «выбивания» скорее полезен, он с большей вероятностью не позволит застрять решению в локальном оптимуме.

Заключение

Рассмотренный алгоритм ACOR обладает рядом достоинств: способностью выходить при поиске за границы заданной области, высокая вероятность избежать застревания в локальном оптимуме. Алгоритм строго не является градиентным: направление поиска формируется, по сути не значением целевой функции, а взаимным расположением решений в области. Отсюда меньше риск уйти по градиенту в ложном направлении, а также, весьма вероятно, эффективная работа с функциями-«оврагами», имеющими большие зоны малого градиента.

Также алгоритм имеет типичные недостатки дискретных муравьиных алгоритмов – он субоптимален, может находить разные решения при одинаковых исходных данных, и т. д.

Решающим фактором эффективности муравьиного алгоритма можно считать возможности решения сложных оптимизационных задач: большой размерности пространства проектных параметров, большие площади поиска и пр. С этой позиции перспективы алгоритма ACOR скорее сомнительны. Во-первых, он практически не подлежит распараллеливанию: на каждой итерации поиск определяется взаимным расположением решений/муравьев. Во-вторых, алгоритм постоянно использует процедуры сортировки и вычисления средней дистанции – для больших размеров базовой популяции и популяции сэмпирования производительность алгоритма существенно возрастет. Поэтому и возможности настройки алгоритма для разных задачи оптимизации сильно ограничены: параметры k , m должны быть относительно невелики, параметры q и ξ мало зависят от сложности задачи.

Однако, у данного подхода есть и перспективы, связанные с более экономной реализацией алгоритмов сортировки и обновления феромонного архива, тогда алгоритм вполне может конкурировать с типовыми алгоритмами оптимизации.

Библиографический список

1. С. П. Хабаров, А. М. Заяц. Интеллектуальные системы и технологии. Роевые алгоритмы: инновационные подходы к оптимизации: учебное пособие. СПб.: СПбГЛТУ, 2024. – 188 с.
2. Ojha, Varun & Abraham, Ajith & Snasel, Vaclav. (2014). ACO for Continuous Function Optimization: A Performance Analysis. 145-150. 10.1109/ISDA.2014.7066253.
3. Ant Colony Optimization for Continuous Domains (ACOR) [Электронный ресурс]. URL: <https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/52860-ant-colony-optimization-for-continuous-domains-acor> (дата обращения 15.01.25).
4. Virtual Library of Simulation Experiments: Test functions and datasets. Optimization Test Problems [Электронный ресурс]. URL: <https://www.sfu.ca/~ssurjano/optimization.html>. (дата обращения 15.01.25)

М.А.Шубина кандидат технических наук, доцент
Кафедра информационных систем и технологий
СПбГЛТУ им.С.М.Кирова
nemsha@mail.ru

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ТЕХНОЛОГИЙ ПОЛУЧЕНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ДАННЫХ

PROSPECTS FOR THE DEVELOPMENT OF TECHNOLOGIES RECEIVING SPATIAL DATA

Аннотация: *развитие технологий получения пространственных данных является актуальной задачей, что обусловлено необходимостью осуществления мониторинга развития естественных и техногенных процессов, и подтверждается значительным количеством научных и практических конференций, посвященных обсуждению этих вопросов.*

Abstract: *the development of spatial data receiving technologies is an urgent task, which is conditioned by the need to monitor the development of natural and man-made processes, and is confirmed by a significant number of scientific and practical conferences devoted to discussing these issues.*

Ключевые слова: *пространственные данные, ГИС, геопорталы, радиолокационные системы, интеграция данных.*

Keywords: *spatial data, GIS, geoportals, radar systems, data integration.*

Для решения ряда хозяйственных задач часто необходимо знание пространственного размещения объектов наблюдения и управления.

Это касается, прежде всего, экологических, транспортных, административных и многих других решений.

Примерами конференций являются следующие:

Проблемы развития технологий, связанных с пространственными данными, обсуждались на IV Совместной международной научно-технической конференции «ЦИФРОВАЯ РЕАЛЬНОСТЬ: космические и пространственные данные, технологии обработки» 16 – 19 сентября 2024 в г. Минск, Республика Беларусь. Конференция была организована АО «Раккурс», ГК «Роскосмос», Государственным комитетом по имуществу Республики Беларусь и Национальной академии наук Беларуси при поддержке АО «Организация «Агат». В ней приняли участие около 130 специалистов из 69 частных и государственных компаний России, Беларуси и Узбекистана [1].

Научная конференция МИИГАиК «Пространственные данные: наука и технологии 2024». 28-29.05.2024, число участников – 130.

Бизнес-форум "Кадастровая деятельность в новых реалиях" 24.07.2024. Организаторы: Ассоциация "Национальное объединение саморегулируемых организаций кадастровых инженеров".

III Международная научно-прикладная конференция "ГИС для цифрового развития. Применение геоинформационных систем и дистанционного зондирования в науке и управлении" 21-24 сентября 2024. Якутск.

«Современные геотехнологии 2024», 29 мая 2024, Новосибирск и ряд других.

Пространственные данные предполагают указание их географических координат, то есть важным фактором при указании пространственных данных является выбор системы координат. В зависимости от географического местоположения государства для наиболее точного указания положения объекта в разных странах системы координат отличаются, наиболее часто в настоящее время используется система WGS 84 (World Geodetic System 1984) — всемирная система геодезических параметров Земли 1984 года, в число которых входит система геоцентрических координат.

В качестве источников такой информации используют:

1. Картографические источники, в том числе карты, планы, атласы, схемы и другие картографические изображения, нанесенные на бумагу, картон, пленку, пластик или иные носители. Такие данные должны быть вначале переведены в электронный вид;

2. Данные дистанционного зондирования (ДДЗ), включая аэро- (в том числе беспилотных аппаратов) и космоснимки, полученные в разных диапазонах электромагнитного спектра: в видимом, инфракрасном, ультрафиолетовом, радиодиапазоне или во многих диапазонах волн сразу; результаты лазерного сканирования поверхности земли, другие данные, полученные неконтактным способом.

3. Данные полевых изысканий, полученные с использованием различных геодезических приборов (теодолиты, нивелиры, электронные тахеометры, лазерные сканеры) и приборов глобальной спутниковой навигации (GPS, ГЛОНАСС, Galileo).

4. Данные натурных наблюдений на гидрометеорологических и иных постах и станциях: такие как температура, осадки, скорость и направление ветра и др. Эти данные обычно задаются в виде атрибутов измеренных значений.

5. Статистические данные ведомственной и государственной статистики.

Таким образом, первая проблема и направление работы – интеграция способов представления данных.

Для сбора, передачи, хранения, извлечения и обработки данных необходимо создать соответствующую инфраструктуру (ИПД), учитывающую пространственную природу данных.

Инфраструктура пространственных данных должна обеспечить поддержку быстрого глобального доступа к географической информации за счет координации действий на региональном, национальном и глобальном

уровнях в государственном и в частном секторах, в том числе, внутри отдельных организаций.

Для реализации перечисленных способов работы с данными используются различные геосервисы — информационные ресурсы, предоставляющие пользователю инструменты для работы с геоданными и существующие в виде самостоятельного продукта или подключаемого сервиса. Они разрабатываются на базе готовых геоинформационных (ГИС) и веб-геоинформационных (Веб-ГИС) систем и обеспечивают определенные сценарии использования данных и функционал для их приема, хранения, обработки и анализа. Чаще всего геосервисы решают задачи мониторинга, моделирования, планирования и проведения расчетов на основе пространственных данных. В свою очередь, геосервисы являются основой геопорталов.

Сетевые сервисы (или Web-службы) для наборов пространственных данных и связанных с ними услуг можно объединить в пять групп [5]:

- поисковые сервисы, позволяющие искать наборы пространственных данных и геосервисы на основе соответствующих метаданных и отображать содержание метаданных;

- сервисы визуализации, предоставляющие, как минимум, возможности просмотра данных, навигации по изображениям, их скроллинга, масштабирования и графического оверлея данных, а также отображения легенд карт и соответствующей информации, содержащейся в метаданных;

- сервисы для скачивания информации, позволяющие копировать наборы пространственных данных или их фрагменты и, по возможности, обеспечивающие прямой доступ к данным;

- сервисы преобразования данных, дающие возможность трансформировать наборы пространственных данных с целью обеспечения их интероперабельности;

- сервисы для вызова других (удаленных) сервисов.

По территориальному охвату геопорталы делятся на глобальные, государственные (федеральные), региональные и муниципальные.

Геопорталы России можно разделить условно на пять видов:

1. федеральные ГИС и геопорталы;
2. региональные ГИС и геопорталы;
3. муниципальные (городские) ГИС и геопорталы;
4. инвестиционные ГИС;
5. ГИС-порталы научных, образовательных, коммерческих и общественных организаций.

Например, геопорталы (Google, USGS, Earth Landsat Image Gallery, Yandex, Космоснимки и другие [2-4, 6-8], обеспечивают пользователей обновляемой космической информацией с разрешением 0,6–30 м. USGS (The United States Geological Survey) – геологическая служба США - научно-исследовательская правительственная организация, специализирующаяся в геологической съёмке США и изучении наук о Земле [4].

- Функциональные возможности геопорталов:

1. Визуализация данных:

- набор базовых карт включающий картографические подложки (OpenStreetMap, Росреестр, Яндекс.Карты, космические снимки и т. п.), общегеографические карты,
- надписи на карте,
- условные знаки.

2. Поиск:

- по адресу,
- по атрибутам,
- в пределах выделенного,
- по ключевым словам,
- по координатам,
- по времени.

3. Веб-сервисы:

- WMS, WFS;
- выгрузка данных в формате .shp;
- выгрузка в формате табличных данных;
- загрузка собственных данных;
- прокладка маршрута;
- сохранение созданных векторных объектов.

4. Картографические инструменты:

- длины, площади, буферы,
- печать карты,
- элементарные инструменты рисования.

5. Доступ к метаданным:

- на русском языке,
- в соответствии с международными стандартами,
- с указанием дат создания, загрузки, актуальности.

6. Авторство карт и данных.

7. Обратная связь с разработчиком.

8. Информация о заказчике.

9. Описание возможных ограничений на данные и их статус (лицензия).

10. Инструкция по работе с порталом, содержащая описание возможностей и инструментария.

Важнейшими требованиями к получаемым данным являются время получения данных и их точность.

В 2002 г. были проведены исследования, связанные с неопределенностью, в непрерывных полях и дискретных объектах соответственно. Неопределенность может изучаться как позиционная неопределенность или неопределенность атрибутов. Пространственная неопределенность связана также с другими смежными проблемами, такими как масштаб. От реальности к представлению неопределенность вводится и распространяется на каждом этапе процесса пространственного анализа — от концептуализации и обобщения до измерения и анализа.

Качество пространственных данных определяется на основе предположения о том, что существует географическая достоверность для сравнения с набором данных — чем ближе пространственный набор данных к истине, тем выше его качество. Примером отчета о качестве данных могут быть метаданные, которые описывают известные поставщикам данных неопределенности, такие как ошибки измерений. Точный набор данных — это тот, который близок к представленному явлению лишь с небольшими ошибками. Неопределенность, размытость и неточность обычно используются для описания неопределенностей, связанных с географическими понятиями, классами и значениями, которые необходимо учитывать надлежащим образом, чтобы ответственно передавать измерения, моделировать и передавать неопределенность в пространственных наборах. Неопределенность в отношении пространственных данных является важной областью географической информатики (GIScience).

По мере развития космической техники от запусков отдельных космических аппаратов перешли к созданию спутниковых группировок оптико-электронных аппаратов: TH-1, TH-2 2010, Jilin-1 2015 г., SuperView-1, 2016 г. (все Китай), PlanetScope 2016-2019 гг., (США), радиолокационных аппаратов: Sentinel-1-2016 г. (ЕКА), COSMO-SkyMed 1-4 (E-GEOS, Италия), ICEYE-2018-2023 г.(Финляндия), Ludi Tance (CNSA, Китай), SAO-COM 2015 г, (CONAE Аргентина).

Примером отечественной разработки является космическая система «Кондор-ФКА» (разработчик ВПК "НПО машиностроения" РФ), предназначена для получения радиолокационной информации в целях обеспечения круглосуточного всепогодного зондирования континентальных районов Земли и акватории Мирового океана в среднем и высоком разрешении. Полная группировка спутников «Кондор-ФКА» состоит из двух космических аппаратов. Рабочие орбиты выбраны околополярные солнечно-синхронные, смещенные друг от друга на $8,88^\circ$, благодаря чему съёмка земной поверхности обеспечивается в диапазоне от -85° до $+85^\circ$. Орбитальная группировка функционирует на двух орбитах с периодом замыкания трассы 16 суток (243 витка) и средней высотой ~ 518 км.

Холдинг Роскосмоса "Российские космические системы" совместно с Научно-производственным объединением им. С. А. Лавочкина (НПО Лавочкина) создадут перспективную систему дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) "Автограф" из 72 спутников "Пиксель-ВР". «АвтоГРАФ» представляет собой аппаратно-программный комплекс, основной задачей которого является определение местоположения объекта с помощью сигналов навигационных спутников системы глобального позиционирования GPS или ГЛОНАСС.

В состав комплекса входят бортовые контроллеры, устанавливаемые непосредственно на транспортные средства, датчики уровня топлива, оборотов двигателя, температуры, давления и другие периферийные устройства в зависимости от комплектации. Для мониторинга инфраструктурных объектов в сверхвысоком пространственном разрешении (50 см) 14 КА бу-

дуг размещаться в семи плоскостях - по два спутника в каждой. Такое построение системы обеспечит максимальную эффективность площадной съемки до 240 тыс. кв. км в сутки или съемку одного района до двух раз в сутки. Аппараты будут вести высокоточное наблюдение за поверхностью Земли в видимом и ближнем инфракрасном диапазоне с солнечно-синхронной орбиты высотой 500-700 км. Габариты одного спутника составляют 1 x 1 x 1,9 м [3].

Если первоначально большая часть спутников использовала опто-электронные аппараты, то в последние годы увеличилось количество запусков спутников, оснащенных радиолокационной аппаратурой ввиду ее всепогодности и глубины проникновения сигналов. Первые радиолокационные спутники использовали аппаратуру X-диапазона, в дальнейшем стали использовать и другие диапазоны электромагнитного излучения, прежде всего, L диапазон. (табл. 1).

Таблица 1.

Основные радиолокационные системы ДЗЗ [7].

Название	Год запуска	Диапазон	Разрешение	Периодичность съемки
Envisat ASAR	2002-2012	C	30м/15м	35 дней
ERS-1	1991-2000	C	25м	35 дней
ERS-2	1995-2011	C	25м	35 дней
Sentinel-1A/B	2014	C	5-20м	6-12 дней
ALOS-1 PALSAR	2006-2011	L	7-100м	46 дней
RADARSAT-1	1996 -2013	C	10-100м	24 дня
RADARSAT-2	2008	C	1-100м	24 дня
RADARSAT Constellation Mission	2019	C	5-50 м	12 дней (1 спутник), 4 дня (группировка)
JERS-1	1992-1998	L	18м	44 дней
ALOS-2, PALSAR-2	2014	L	1-100м	14 дней\
SAOCOM-1A/B	2018	L	7-100м	8 дней (группировка)
TerraSAR-X / TanDEM-X	2007	X	0.25-40м	11 дней
PAZ	2018	X	1-6м	11 дней
KOMPSAT-5	2013	X	0.85-20м	28 дней
COSMO-SkyMed	2007	X	1-100м	16 дней (один спутник), 1-8 дней (группировка)
Capella	2020	X	0.5-1.7м	Ежедневно (группировка)
UMBRA	2021	X	0,25-6 м	Ежедневно (группировка)
ICEYE	2019	X	0.5-3м	Ежедневно (группировка)
Gaofen-3	2016	C	1-500м	29 дней

Piesat	2023	X	0,5-100 м	4 дня
Ludi Tance 1-01	2022	L	3-100м	4 дня
RISAT	2012-2017	C	9-50м	12 дней
QPS-SAR	2019	X	1-50 м	Ежедневно (группировка)
Synspective	2022	X	1-50 м	Ежедневно (группировка)
NISAR	2024	S L	2-100 м	12 дней
Кондор-ФКА	2023	S	1-12 м	12-14 дней

Следующее направление развития техники - комплексирование результатов наблюдения в разных радиолокационных диапазонах: SAOCOM (Аргентинское космическое агентство CONAE) (Satélite Argentino de Observación COn Microondas) — спутниковая группировка аппаратов L-диапазона аргентинского космического агентства CONAE и X-диапазона COSMO-SkyMed Итальянского агентства.

Характеристики спутников SAOCOM 1A и COSMO-SkyMed.

Два спутника уже находятся на солнечно-синхронной орбите. Аргентинское космическое агентство CONAE заключила контракт с компанией INVAP в качестве генерального подрядчика проекта. Оба спутника, SAOCOM 1A и SAOCOM 1B, оснащены полностью поляриметрическим радаром с синтезированной апертурой (SAR) L-диапазона (около 1,275 ГГц), который помогает прогнозировать стихийные бедствия и оценивать их последствия. Каждый спутник имеет массу 3050 кг. SAOCOM 1A был запущен 8 октября 2018 года, а SAOCOM 1B был запущен 30 августа 2020 года.

Система SAOCOM работает совместно с итальянской группировкой COSMO-SkyMed в X-диапазоне (~9,6 ГГц) для предоставления информации, необходимой для управления чрезвычайными ситуациями. Результаты получают двумя космическими аппаратами SAOCOM и четырьмя космическими аппаратами COSMO-SkyMed два раза в день (Sistema Italo-Argentino de Satélites para la Gestión de Emergencias) (SIASGE).

SAOCOM 1B является вторым из двух спутников наблюдения Земли серии SAOCOM 1, предназначенных для получения радиолокационных изображений для помощи аварийно-спасательным службам и мониторинга окружающей среды, включая сбор данных о влажности почвы.

Предполагается расширить систему группировки SIAGSE до 10, добавив два дополнительных спутника COSMO-SkyMed (CSG-1 и CSG-2) и два дополнительных спутника SAOCOM, SAOCOM 2A (запуск в августе 2028 года) и SAOCOM 2B (запуск в августе 2030 года).

Среди основных особенностей группировки из 4 спутников COSMO-SkyMed 1-4 можно отметить частоту интерферометрических съемок до 8 раз в месяц, наличие различных поляризационных режимов, пространственное разрешение до 1 м, что позволит получать композиты высокого разрешения, находящие широкое применение в сельском и лесном хозяй-

стве, а также при мониторинге землепользования. Планируется заменить эти 4 спутника улучшенными версиями 2 поколения, которые будут работать в той же орбитальной плоскости, что и спутники первого поколения.

Примером интеграции данных является КА ALOS-3, где на одной платформе совмещены оптическая и радарная системы, правда, в дальнейшем его заменят двумя космическими аппаратами один оптико-электронный (ALOS-3), второй — радарный (ALOS-2). ALOS-3 будет способен выполнять съемку в панхроматическом, мультиспектральном и гиперспектральном режимах.

Разнообразие углов наблюдения представляет КА GF-3 №02 (Китай), который с момента выхода на рабочую высоту находился в противофазе с GF-3 №01, отставая от него на полвитка, что позволило «покрывать» Землю вдвое плотнее, и частота просмотра заданных районов земной поверхности также была увеличена вдвое. С вводом в строй третьего спутника они будут распределены вдоль орбиты с шагом в 120°. Сообщается также, что для группировки из трех КА максимальное время между повторными наблюдениями заданного района сократится с 84 до 12 часов, а среднее время – с 14.4 до 4.8 часа.

Taijing 4 (Китай) – первый коммерческий спутник с пространственным разрешением 1 м, запущен 27.02.2022 г. Принадлежит группировке из 5 спутников *Ku* диапазона, все оснащены искусственным интеллектом быстрого обнаружения морских объектов и передачи изображений в реальном времени.

Еще один проект – разработка многоспутниковой распределенной интерферометрической радиолокационной системы с синтезированной апертурой, использующей конфигурацию формирования четырехспутникового колеса (Cartwheel): «1 основного спутника + 3 вспомогательных спутника», которая обладает возможностями глобальной широкодиапазонной высокоточной съемки высокого разрешения, а также мониторинга деформаций Земли.

Спутниковая система имеет широкие перспективы для применения и имеет большие преимущества в мониторинге городских геологических катастроф, мониторинге океана, мониторинге стихийных бедствий при наводнениях и мониторинге оседания поверхности.

Для обработки и хранения пространственных данных требуется поддержка разных типов геопространственных данных, специальных функций для запросов и анализа данных, улучшение программного обеспечения ГИС, инструментов венб-картографирования и др.

Ведущие разработчики СУБД создали расширенные версии: Microsoft - MS SQL Server Spatial, Oracle – Oracle Spatial and Grafr, Refrations Research Inc - PostgreSQL PostGIS? SAP Hana Spatial.

Заключение

Результаты анализа работы создателей космической техники за последние 20 лет позволяют сделать вывод, что основными направлениями

развития технологий получения пространственных данных являются следующие:

- улучшение средств и путей быстрого авторизованного доступа, в том числе, ускорение доведения чрезвычайной информации до потребителя с часов до минут;
- интеграция данных и сервисов;
- стандартизация защищенного доступа к хранилищам пространственных данных и каналов передачи данных;
- повышение качества получаемых данных, за счет ряда аспектов: увеличение разрешающей способности, расширения диапазонов электромагнитного излучения данных, их комплексирования; увеличения количества датчиков одновременного получения согласованных данных; изменения углов и высот съемки;
- расширение областей мониторинга Земли, включая полярные;
- повышение качества геодезических измерений на поверхности Земли с учетом ее изменений;
- разработка новых программных продуктов для анализа данных;
- повышение уровня автоматизации на всех этапах получения данных

Библиографический список

1. IV Совместная международная научно-техническая конференция «Цифровая реальность: космические и пространственные данные, технологии обработки» (Минск, Республика Беларусь, 16–19 сентября 2024 г. URL: <https://geoprofi.ru/news/iv-sovmestnaya-mezhdunarodnaya-nauchno-tekhnicheskaya-konferenciya-cifrovaya-real-nost-kosmicheskie-i-prostranstvennyhe-dannyhe-tekhnologii-obrabotki-minsk-respublika-belarus-16-19-sentyabrya-2024-g>).
2. Портал европейского сообщества наблюдения Земли. URL: <http://www.eosdis.org>, <http://www.eoPortal.org>
3. Сайт АО «Российские космические системы» (РКС). URL: <https://russianspacesystems.ru/bussines/dzz.ru>
4. Сайт геологической службы США. URL: <https://usgs.gov/landsat-missions/landsat-collection>
5. Сайт института космических исследований российской академии наук (ИКИ РАН). URL: <http://iki.rssi.ru/>
6. Сайт компании СКАНЭКС URL: <https://www.skanex.ru>
7. Сайты компании Совзонд. Характеристики спутников. URL: <https://sovzond.ru/products/spatial-data/satellites/?ysclid=l66okg27eb672484365#sat-422>, характеристики оптических спутников. URL: <https://sovzond.ru/products/spatial-data/satellites/#optic-details>, характеристики радиолокационных спутников. URL: https://sovzond.ru/files/obzor_radarnykh_dannykh_i_SARscape.pdf?ysclid=l66okg27eb672484365#p=1

8. Сайт Космоснимки.ру. URL:<https://novosti-osmonavtiki.ru/?ysclid=lpwi9m5np562300881>

9. Сайт НЦ ОМЗ. Единая территориально-распределенная информационная система дистанционного зондирования Земли (ЕТРИС ДЗЗ)/ URL:<https://ntsomz.ru/etris-dzz/>

Научное издание

Отв. редактор
Меламед Наталья Владимировна

**ИНФОРМАЦИОННЫЕ
СИСТЕМЫ И ТЕХНОЛОГИИ:
ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА**

С б о р н и к н а у ч н ы х т р у д о в

Выпуск 17

В авторской редакции с готового оригинал-макета

Подписано с оригинал-макета 23.05.2025

Уч.-печ.л. 14,0. Заказ № 103. С 215

Санкт-Петербургский государственный
лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Издательско-полиграфический отдел СПбГЛТУ
194021, Санкт-Петербург, Институтский пер., 3