

Министерство образования и науки РФ

---

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

---

*Кафедра информационных систем и технологий*

# **ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ И ТЕХНОЛОГИИ: ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА**

**Сборник научных трудов**

Выпуск 16

Санкт-Петербург

2024

Рассмотрен и рекомендован к изданию  
Научно-методическим советом  
Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета

**Редакционная коллегия:**

**М.Р.Вагизов**, кандидат технических наук, доцент (отв. редактор),  
**С.П. Присяжнюк**, доктор технических наук, профессор, засл. деятель науки РФ  
**Е.П. Истомин**, доктор технических наук, профессор  
**Л.В. Уткин**, доктор технических наук, профессор  
**А.М. Заяц**, кандидат технических наук, профессор  
**Н.В.Меламед**, кандидат технических наук, доцент,  
**С.П.Хабаров**, кандидат технических наук, доцент,  
**П.И. Кузин**, кандидат технических наук, доцент.

**Составитель**

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

**Рецензент**

Доктор технических наук, профессор  
кафедра информационных технологий и систем безопасности  
Российский государственный гидрометеорологический университет  
**В.Г. Бурлов**

Информационные системы и технологии: теория и практика:  
сб. научн.тр. вып. 16/ отв. ред. М.Р.Вагизов. – СПб.: СПбГЛТУ, 2024. – 200 с.  
ISBN 978-5-9239-1477-1

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

## ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>Н.П. Васильев, М.Р. Вагизов.</b> Подготовка данных для компьютерных моделей рельефа местности с помощью мобильного приложения.....	5-18
<b>К.И. Замышляев, Д.В. Полынский, М.П. Филяев.</b> Применение сжатия векторных представлений в задаче полнотекстового информационного поиска .....	19-28
<b>А.М. Заяц.</b> О некоторых особенностях смарт-контрактов, реализуемых в блокчейн системе .....	28-35
<b>Г.С. Иванов, А.К. Бойцов.</b> Интеграция машинного обучения и генетических алгоритмов для оптимизации условий выращивания посадочного материала в лесных питомниках .....	36-44
<b>А.С. Корнев, С.П. Хабаров.</b> Оценка массы перевозимого груза на основе математической модели движения судна .....	45-51
<b>А. А. Костерева, М.Р. Вагизов.</b> Оценка влияния степени сохранности объектов культурного наследия ландшафтной архитектуры на возможность применения геоинформационного моделирования .....	51-57
<b>П.И. Кузин, Е.И. Кузина.</b> Измерение параметров адаптации при приёме информации в системах передачи данных .....	58-63
<b>П.И. Кузин, Е.И. Кузина, А.А. Константинова.</b> Передача информации в каналах связи с замираниями .....	64-71
<b>К.В. Кузнецов, Н.С. Жовнеров.</b> Обзор современного программного обеспечения для решения картографических задач, в том числе задач двойного назначения .....	72-78
<b>М. М. Кумарина, М. П. Филяев.</b> Применение моделей GPT для продвижения онлайн-магазина интерьерной печати .....	79-86
<b>А.А. Логачев.</b> Формирование и учет приказов на поощрение студентов за активное участие в жизни Университета .....	87-91
<b>Л.Г. Логачева.</b> Разработка программного решения для сравнительного анализа учебных планов с целью выявления возможных ошибок на этапе их проектирования .....	92-99
<b>К.А. Мартын.</b> Подсчет количественных параметров на основе данных дистанционного зондирования земли для отраслей лесного хозяйства ..	99-102
<b>Н. В. Меламед.</b> Модификация метода МАИ/ДШ неполной информации о критериях и альтернативах для двух уровней критериев .....	103-121

<b>А.А. Мокринский, А.К. Бойцов.</b> Методы моделирования дифракции сигнала в лесных условиях .....	122-131
<b>И.А. Обухова, Т.К. Екшикеев.</b> Перспективы цифровых проектов использования лекарственных ресурсов леса .....	132-139
<b>И.А. Обухова, С.Д.Пименов, И.Д. Лобок.</b> Обработка методом деконволюции инфракрасных спектров поглощения образцов древесины березы, собранной посезонам года в программном пакете ORIIN .....	140-146
<b>А.И. Попов, Н.В. Меламед.</b> Обзор методики учета и анализа партий круглого лкса с применением цифровой обработки изображений .....	147-151
<b>А.С. Скубак, А.М. Заяц.</b> Исследование возможностей практического применения приложения для выбора координаторов в беспроводных сетях (БСС) кластерной архитектуры .....	152-156
<b>А.С. Скубак, С. П. Хабаров.</b> Исследование возможностей применения NFC меток .....	157 –163
<b>С.М. Туркин, С.А. Иванов.</b> Сбор данных из разнородных систем и сложности их интеграции в рамках больших информационных систем ...	164-173
<b>С.П.Хабаров.</b> Тестирование простейших сетевых Python-приложений в NOTEPAD++ .....	173-182
<b>К.И. Шибнев, Н.В.Меламед.</b> Разработка компьютерной системы, предназначенной для моделирования хода роста древостоев .....	183-189
<b>М.А.Шубина.</b> О проблемах обеспечения безопасности пространственных данных .....	190-199

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

**М.Р. Вагизов**, кандидат технических наук, доцент  
Кафедра информационных систем и технологий  
СПбГЛТУ им. С. М. Кирова  
bars-tatarin@yandex.ru

## **ПОДГОТОВКА ДАННЫХ ДЛЯ КОМПЬЮТЕРНЫХ МОДЕЛЕЙ РЕЛЬЕФА МЕСТНОСТИ С ПОМОЩЬЮ МОБИЛЬНОГО ПРИЛОЖЕНИЯ**

### **PREPARATION OF DATA FOR COMPUTER TERRAIN MODELS USING A MOBILE APPLICATION**

***Аннотация:** Современные средства спутникового позиционирования позволяют вместе с географическими координатами определять и высоту. Точность таких измерений по прогнозам будет только увеличиваться. На основе API геолокации мобильной платформы авторами разработано мобильное приложение с минимальной функциональностью для сбора облака точек и возможностью его корректировки. Приложение позволяет строить триангуляцию Делоне, являющуюся отправной точкой в моделировании, выявлять проблемные участки и оперативно исправлять ситуацию путем исключения (включения) точек или дополнительных измерений. Обсуждаются технологии реализации ключевых функций приложения, модели и технологии использования результатов.*

***Annotation:** Modern satellite positioning tools make it possible to determine altitude along with geographic coordinates. The accuracy of such measurements is predicted to only increase. Based on the geolocation API of the mobile platform, the authors have developed a mobile application with minimal functionality for collecting a point cloud and the ability to adjust it. The application allows you to build a Delaunay triangulation, which is the starting point in modeling, identify problem areas and quickly correct the situation by excluding (including) points or by additional measurements. Technologies for implementing key functions of the application, models and technologies for using the results are discussed.*

**Ключевые слова:** спутниковое геопозиционирование, GPS, GLONASS, триангуляция Делоне, модели рельефа местности, progressive web applications, PWA, мобильные приложения, Java Script.

**Keywords:** satellite geopositioning, GPS, GLONASS, Delaunay triangulation, terrain models, progressive web applications, PWA, mobile applications, Java Script

## Введение

В настоящее время практически каждое мобильное устройство снабжено модулем геолокации, способным определять его местоположение. При этом могут быть задействованы различные технологии, менее точные из них используют станции сотовой связи или сканируют Wi-Fi и Bluetooth точки доступа, более точные — используют сигналы спутников системы глобального позиционирования (чаще всего это американская GPS, альтернатива — российский ГЛОНАСС или европейский Galileo и др.). Точность спутникового позиционирования составляет 2-3 метра и по прогнозам будет ещё выше [10]. С другой стороны, существующие математические модели позволяют строить интерполирующие поверхности (даже с гладкой нормалью) на основе исходных сеток точек с различной топологией. Это могут быть регулярные (нерегулярные) прямоугольные сетки [2] или конформные треугольные сетки [7, 8, 9, 11, 12]. С появлением WebGL модели могут быть успешно реализованы в web-приложениях для целей визуализации [2] или решения иных прикладных задач, требующих применения методов интерполяции пространственных данных.

В настоящее время высоты в основном являются результатами различных методов дистанционного зондирования [1]. В статье предлагается вариант сбора данных высот с помощью мобильного приложения на основе API геолокации. Ожидается, что ошибка позиционирования носит систематический характер и в будущем будет значительно меньше (поскольку технические средства спутникового позиционирования постоянно совершенствуются). Как результат построенная модель может оказаться подходящей для визуализации и предварительных количественных оценок. Следует учитывать, что точность измерений определяется доступностью в прямой видимости достаточного количества спутников и совершенством приёмников, способных исключать отражённые сигналы [10]. В статье акцент делается, прежде всего, на необходимой функциональности приложения.

Для решения поставленной задачи достаточно возможностей доступных PWA (Progressive Web Application). Прогрессивные приложения способны автономно функционировать на мобильном устройстве и являются достойной заменой нативным приложениям [2]. С другой стороны, такие приложения являются кроссплатформенными и не требуют использования зарубежных хранилищ (App Store, Google Play).

Возможны два варианта сбора данных: по заранее запланированной прямоугольной (регулярной или нерегулярной) сетке или без предвари-

тельного планирования. Ограничимся вторым вариантом, который позволяет собрать произвольный набор точек, именуемый иногда — облако точек. Нерегулярное облако точек обладает следующими преимуществами:

- Плотность точек можно увеличить для пересечённых участков и рассредоточить точки для относительно ровных участков.
- Для сбора данных достаточно «прогуляться» с мобильным устройством по исследуемой территории.
- Симплексом двумерного пространства, как известно, является треугольник — основной примитив любой графической библиотеки (Open GL, WebGL). По этой же причине моделирование также предполагает триангуляцию. Достаточно качественной по ряду ключевых параметров является триангуляция Делоне, для которой разработаны эффективные алгоритмы, реализованные практически на любом языке программирования [5]. Если облако точек триангулировано, то оно может быть непосредственно использовано в шейдерах.

С другой стороны, треугольники требуют особых математических методов. Так интерполяция в пределах каждого треугольника реализуется в локальных барицентрических координатах [7, 11, 12], а для сшивки треугольных сплайнов и построения поверхностей класса  $C^1$  авторам не известны надёжные методы (подобные двумерной сплайн-интерполяции). Однако, в настоящее время разработан ряд математических методов, которые позволяют оценить нормаль в узлах гранёной поверхности общую для примыкающих к узлу треугольных граней [11, 12]. Более того, в локальных барицентрических координатах можно построить ряд вспомогательных контрольных точек для треугольной заплатки в виде поверхности Безье-Кастельжо и реализовать дополнительную тесселяцию [12] для более качественной визуализации и интерполяции.

С учётом сказанного можно сформулировать ряд предварительных требований к функциональности приложения:

- Приложение должно обеспечить регулируемую плотность точек в режиме автоматического сбора данных.
- Приложение должно отображать собранные точки на карте.
- Приложение должно уметь строить триангуляцию Делоне и отображать результат на карте для выявления областей, требующих дополнительных измерений или исключения «неудобных» точек.
- Предыдущее требование влечёт необходимость реализации кроме автоматического режима сбора точек «ручного» режима измерения в выбранной точке.
- Локальное хранение групп точек (для различных исследуемых участков) и их отображение в виде таблицы.
- Наконец, экспорт и импорт собранных данных.

Авторами разработано мобильное PWA-приложение с указанной функциональностью.

## Минимальный набор настроек приложения

Прежде всего - это ряд опций API (Application Programming Interface) геолокации, доступное в PWA. Заметим, что работа с API геолокации, по сути, мало отличается для различных технологий разработки мобильных приложений. Установка параметра `enableHighAccuracy` (`=true`) позволит приёмнику использовать спутниковое позиционирование. Заметим, что при этом не исключается использование иных доступных технологий в случае необходимости. Таймаут `timeout` — максимум ожидания ответа в миллисекундах. Время старения `maximumAge` (в миллисекундах) определяет промежуток времени, в течение которого API разрешается использовать кэшированный результат, иначе — выполнить новое измерение. Эти опции предусмотрены API геолокации.

Кроме этого, для автоматического режима сбора данных потребуется отслеживать расстояние до уже «заготовленных» точек, чтобы точки не «наезжали» друг на друга. Это можно сделать, установив некоторые минимальные значения расстояний по горизонтали (с Запада на Восток) и по вертикали (с Юга на Север)  $\Delta_x$  и  $\Delta_y$ . Для сильно пересечённых участков эти значения должны быть меньше. Для автоматического режима также потребуются некоторые критические значения погрешностей по местоположению (`accuracy`) и по высоте (`altitudeAccuracy`), выше которых измерение выбраковывается. Кроме этого, следует предусмотреть некоторую «метку» (`Tag`) для измерений, относящихся к одному участку местности. В результате, имеем форму, представленную на рисунке 1.

## Автоматический режим

API геолокации предоставляет метод `watchPosition`, который позволяет реализовать автоматический режим измерений:

```
navigator.geolocation.watchPosition(success, error, opts);
```

Методу `success` (это так называемый `callback` согласно принятой в программировании терминологии) будут переданы результаты измерений. Метод вызывается при изменении положения устройства (согласно спецификации) и по опыту использования является достаточно чувствительным — вызывается достаточно часто.

Как уже было сказано, автоматический режим предполагает фильтрацию измерений по точности (`acc` и `altAcc`) и по расположению чтобы добиться регулируемой плотности точек (`deltax`, `deltay`). Для этого предлагается следующий алгоритм:

```
//111134.861111 м - длина меридиана
//111321.377778 м - длина экватора
function checkCoords (crds) {
  if(
    crds.accuracy > geolocation.acc ||
    crds.altitudeAccuracy > geolocation.altAcc
  ) return false;
  if(pnts && pnts.length == 0) return true; // нет близких точек
```

```
let found = pnts.find(pnt => {
  if(
    Math.abs(pnt.lat - crds.latitude) * 111134.861111 <
    geolocation.deltay
    &&
    Math.abs(pnt.lon - crds.longitude) * 111321.377778 *
    Math.cos( Math.PI / 180 * pnt.lat ) < geolocation.deltax
  ) return true;
});
if(found) return false; else return true;
}
```

В представленном фрагменте кода предполагается, что измерения накапливаются в массиве точек pnts, результаты очередного измерения передаются в crds. Очередное измерение будет добавлено только после «одобрения» функцией checkCoords. В этом случае приложение информирует пользователя (рисунок 2). В рамке результаты текущего измерения. Сообщение «Point added» появляется, в случае если измерение прошло «цензуру» и добавлено в базу с указанным id и с пометкой, заданной в опциях (в поле Tag).



Рис. 1. Минимальный набор опций приложения



Рис. 2. WATCH — Автоматический режим измерений

### Ручной режим

Ручной режим предусмотрен как дополнение к автоматическому режиму, в том случае, если требуется выполнить измерения в конкретной

точке. Такие измерения могут потребоваться, например, после критического анализа результатов и качества получившейся триангуляции (речь об этом пойдёт ниже). Обычно устройству требуется «разогрев» и «холодный» старт не обеспечивает удовлетворительную точность.

В ручном режиме (вкладка COORDS) пользователь самостоятельно принимает решение о качестве измерения и занесении в базу (SAVE). Обычно «холодный» старт не обеспечивает необходимую точность и требуется выполнить ряд измерений.

Опыт использования приложения показывает, что разовые измерения следует проводить сразу после небольшой прогулки в автоматическом режиме. Из серии измерений в базу заносится последнее (рисунок 3).



Рис. 3. Ручной режим (вкладка COORDS)

### Организация локального хранения измерений

Предполагается, что приложение должно функционировать автономно. Поэтому следует предусмотреть локальный вариант хранения данных в рамках самого приложения без доступа к сети и серверам. Как известно непосредственный доступ к файловой системе клиента в web запрещён. Это касается и PWA. Однако, современные браузеры и PWA предлагают достаточно мощные технологии для организации и хранения данных. Одной из них является база IndexedDB, поддерживающая практически не-

ограниченные объёмы данных, транзакции, индексы и поиск по индексированным полям (точнее свойствам объектов). Если проводить аналогию с реляционной базой, то аналогом таблицы в IndexedDB выступает хранилище объектов objectStore. Сюда можно записывать объекты со сложной структурой. Свойства объекта могут служить аналогом полей таблицы. Каждый объект в objectStore снабжается ключом, который может быть сгенерирован автоматически или заимствован из предусмотренного для этой цели свойства объекта с уникальными значениями.

Для хранения измерений используется объект со следующими полями:

```
fields: [{
  name: 'id', type: 'int', defaultValue: -1
},{
  name: 'tag', type: 'string'
},{
  name: 'lat', type: 'number'
},{
  name: 'lon', type: 'number'
},{
  name: 'altitude', type: 'number'
},{
  name: 'accuracy', type: 'number'
},{
  name: 'altaccuracy', type: 'number'
},{
  name: 'heading', type: 'number'
},{
  name: 'speed', type: 'number'
},{
  name: 'timestamp', type: 'int'
},{
  name: 'delaunayOn', type: 'boolean', defaultValue: true
}]
```

Назначения полей соответствуют их названиям и не требуют комментариев, за исключением поля delaunayOn, которое определяет: будет ли использована данная точка при построении триангуляции.

Кроме этого, потребуется objectStore для хранения опций приложения. Локальное хранилище приложения из двух objectStore с именами pnts (для измерений) и cfg (для опций) создаём (открываем) с помощью функции, возвращающей соответствующий промис:

```
function dbReady() {
  return new Promise(res => {
    let openReq = indexedDB.open("elevationmodel", 1);
    openReq.addEventListener("upgradeneeded", ev => {
      let db = ev.target.result;
      db.createObjectStore('cfg', { keyPath: 'id' });
      let pnts = db.createObjectStore('pnts', { autoIncrement: true });
      pnts.createIndex('tagNdx', 'mytag');
    });
    openReq.addEventListener("error", ev => {
      throw( new Error("openReq error") )
    });
  });
}
```

```
openReq.addEventListener("success", ev => {
  db = openReq.result;
  db.onerror = ev => {
    throw( new Error(
      `dbError ${ev.target.errorCode} ${ev.target.error}`
    )
  );
});
res(db);
});
});
}
```

Технология IndexedDB обладает важным для прогрессивных приложений достоинством: она доступна в Service Worker. Этим преимуществом воспользуемся в следующем разделе.

**Табличное представление данных в автономном режиме с помощью Service Worker и компонента типа grid.**

Современные фреймворки для разработки клиентской части web-приложений обычно имеют в своём арсенале готовые компоненты для табличного представления данных (так называемые grids). Обычно источником данных для них являются результаты http-запросов к серверам. В PWA результат запроса к серверу может быть изменён сервис-вокером. С другой стороны, доступ к данным в IndexedDB также возможен из потока инструкций Service Worker (SW).

В результате, получаем архитектуру автономного PWA-приложения, использующего готовые решения для grid-представлений и данные из локального хранилища данных IndexedDB (рисунок 4). Достоинством IndexedDB является возможность доступа как из основного потока инструкций, так и из потока Service Worker.

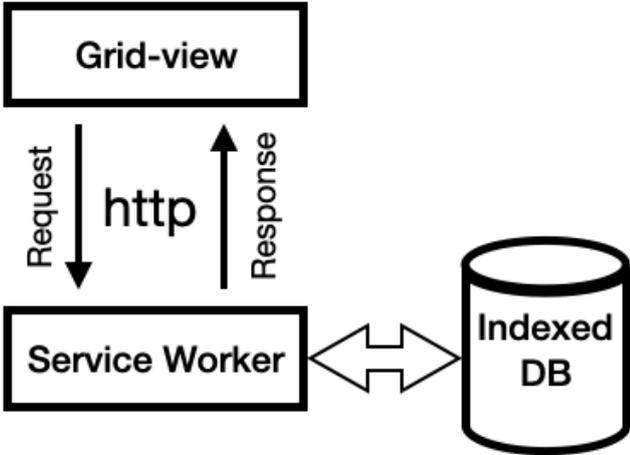


Рис.4. Архитектура автономного хранения данных

Предположим, что данные поставляются в результате запроса вида: *http://.../coords.json?tag=g1*. Тогда при обработке события fetch в SW фильтруем такие запросы, выделяем параметр tag и ответ формируем следующим образом:

```
self.addEventListener('fetch', function(event) {
  const url = new URL(event.request.url);
  let pathname = url.pathname, searchParams = url.searchParams;
  if(pathname.includes('/coords.json')) {
    let tag = searchParams.get('tag');
    event.respondWith(
      getKeyCoordsByTag(tag).then(resjson => {
        return new Response(resjson, {
          status:200, headers: { 'content-type': 'text/json' }
        });
      })
    )
  }
});
```

Здесь функция getKeyCoordsByTag реализует запрос к базе IndexedDB и возвращает промис, который разрешается требуемым json-ответом:

```
function getKeyCoordsByTag(tag) {
  return new Promise(res => {
    const txn = db.transaction('pnts'),
          q = txn.objectStore('pnts').index('tagNdx').openCursor(tag);
    let rws = [], resjson;
    q.onsuccess = ev => {
      let cursor = ev.target.result;
      if(cursor) {
        let id = cursor.key, val = cursor.value;
        let rw = {id: id}; Object.assign(rw, val);
        rws.push(rw);
        cursor.continue();
      }
      else {
        let rows = JSON.stringify(rws), cnt = rws.length;
        resjson = `{ "rows": ${rows}, "cnt": ${cnt} `;
      }
    }
    txn.oncomplete = ev => {
      if(resjson) res(resjson); else res(`{"rows": [], "cnt": 0}`);
    }
  });
}
```

Предполагается, что измерения хранятся в objectStore с именем pnts и json-результат формируется в соответствии с требованиями компонента grid фреймворка Sencha ExtJS (<https://www.sencha.com/products/extjs/>), который использовался для разработки интерфейса приложения.

Grid-компоненты предусмотрены практически в любом фреймворке. Service Worker позволяет подменить ответ на запрос от такого компонента локальными данными. На рисунке 5 представлен Grid-компонент Sencha ExtJS.

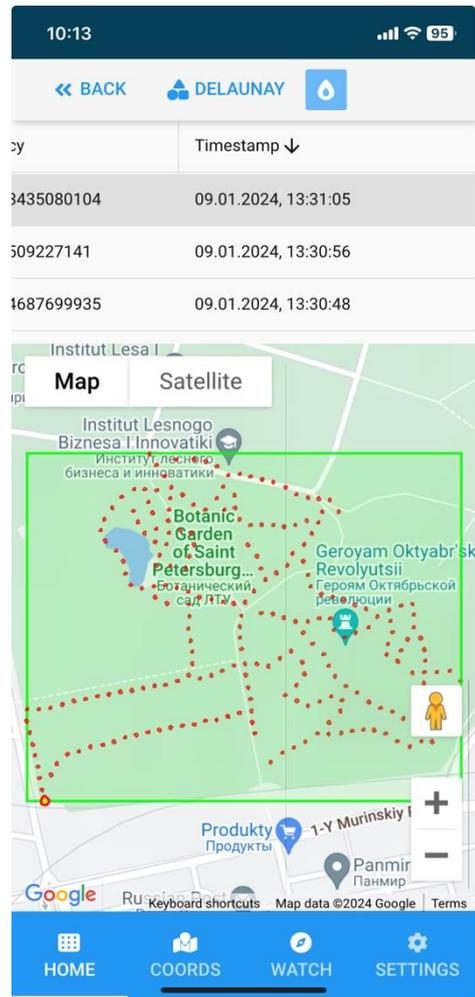
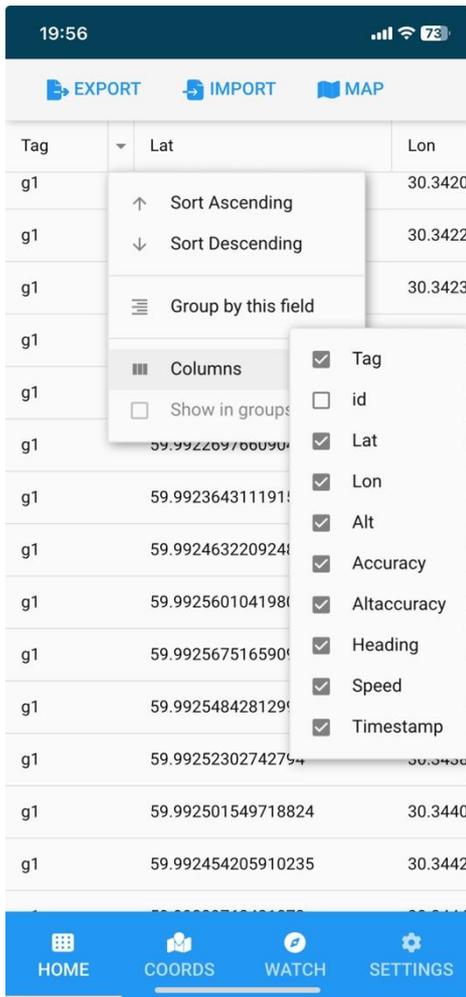


Рис.5. Grid-компонент Sencha ExtJS

## Экспорт и импорт результатов

Наиболее распространёнными в настоящее время форматами для сериализации данных являются xml и json. Продемонстрируем как можно организовать передачу json-представления собранных данных с помощью современного JavaScript с нововведениями в виде промисов и fetch вместо Ajax:

```

getKeyCoords ()
.then(rws => {
  let rws_json = JSON.stringify(rws);
  return fetch('.../saveCoords.php', {
    method: 'POST', body: rws_json, mode: 'cors',
    headers: { "Content-Type": "text/json;charset=UTF-8" }
  })
})
.then(res => {
  if(res.ok) return res.text();
  throw( new Error(` ${res.status} ${res.statusText}`) );
})
.then(txt => { /* успешное завершение с сообщением txt */ })
.catch(err => { /* ошибка ` ${err.name}: ${err.message}` */});

```

На стороне сервера приём данных реализован с помощью php (saveCoords.php). Заметим, что это не обязательно same origin сервер. Современный web позволяет «узаконенным» и безопасным образом реализовывать кросс-запросы к любым серверам.

Функция getKeyCoords возвращает промис с данными для экспорта в виде массива объектов (в resolve):

```
function getKeyCoords() {
  return new Promise(res => {
    const txn = db.transaction('pnts'),
          q = txn.objectStore('pnts').openCursor();
    let rws = []; q.onsuccess = ev => {
      let cursor = ev.target.result;
      if(cursor) {
        let id = cursor.key, val = cursor.value;
        let rw = {}; Object.assign(rw, val); rw.id = id;
        rws.push(rw);
        cursor.continue();
      }
    }
    txn.oncomplete = ev => res(rws);
  });
}
```

Импорт данных реализован аналогичным образом.

## Оперативный анализ и корректировка результатов

Современные технологии работы с облаком точек предполагают триангуляцию. Триангуляция, как минимум, позволяет выполнить кусочно-линейную интерполяцию, а также визуализировать результат в виде гранёной поверхности с помощью технологии WebGL непосредственно в рамках мобильного приложения (эта возможность пока не реализована).

Предполагается, что точки собираются с достаточно маленькими значениями  $\Delta_x$  и  $\Delta_y$  для участков с большими градиентами высоты. Для плоских участков значения указанных параметров могут быть сравнимы с размерами таких участков.

Построение оптимальной триангуляции (сумма всех рёбер, то есть сторон треугольников, минимальна) является NP-полной. Приемлемым вариантом оптимальным по ряду ключевых параметров является триангуляция Делоне. Для её реализации в настоящее время разработан ряд эффективных алгоритмов (например, алгоритм Форчуна, автор — Steven Fortune) практически на любых языках, в том числе и на JavaScript. Авторы воспользовались готовой реализацией: <https://github.com/mapbox/delaunator>.

Небольшая прогулка по парку лесотехнического университета позволила собрать облако из 243 точек, которые представлены на рисунке 5 справа. Триангуляция, построенная по этому множеству, представлена на рисунке 6. Можно заметить, что ряд треугольников, например, вблизи университета далеки от правильной формы: слишком вытянуты вдоль фасада здания. Заметим, что чем ближе треугольники к равносторонним, тем большую ценность имеет триангуляция. Кроме того, участок, который они

покрывают достаточно ровный, поэтому хотелось бы получить на этом участке более правильные треугольники, пусть даже в меньшем количестве.

Интерфейс приложения позволяет связать таблицу и карту, выбирать «портящие картину» точки и исключать (включать) их из триангуляции. Для этого предусмотрена кнопка с иконкой в виде языка пламени (рядом DELAUNAY).

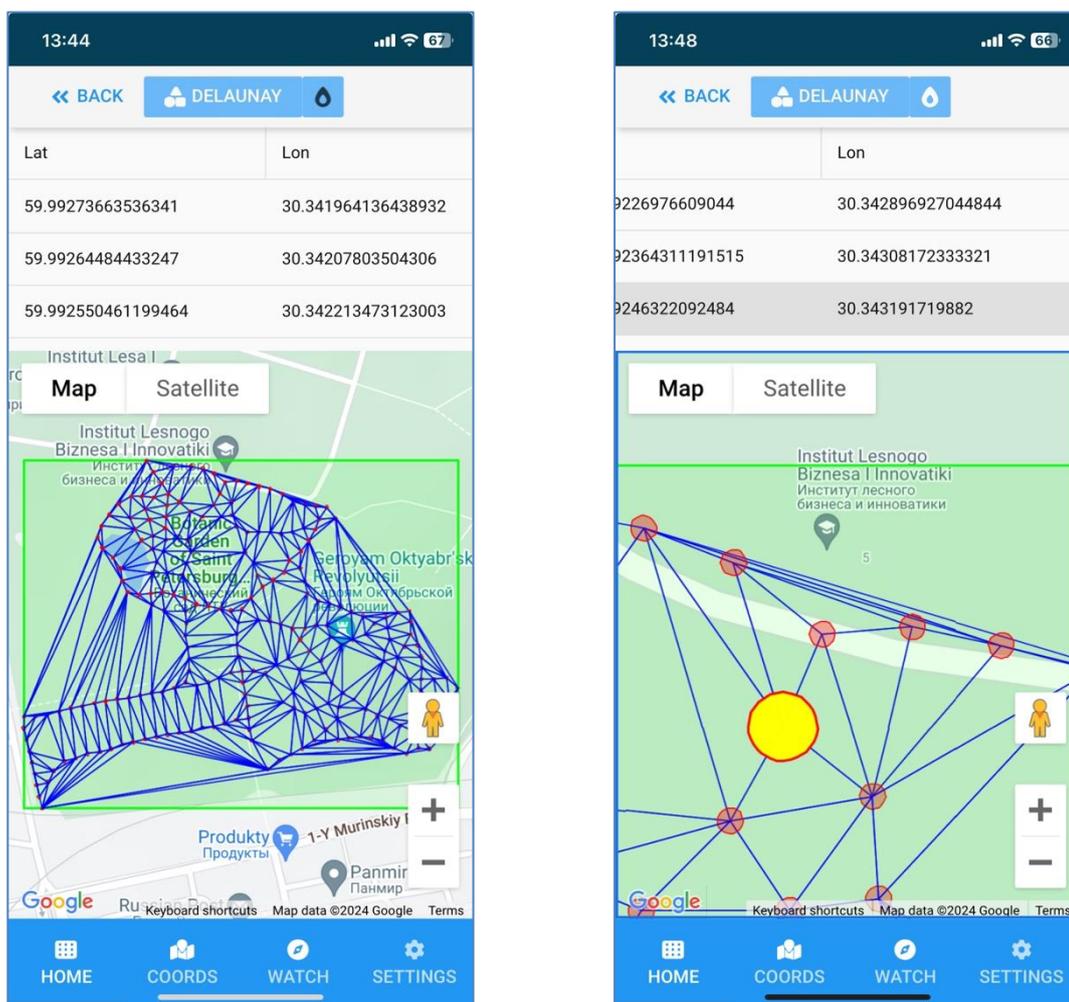


Рис. 6. Триангуляция, построенная по множеству точек

Можно заметить, что такое поведение триангуляции связано с вогнутостью линии пограничных точек. Такой дефект можно убрать либо дополнительной точкой (или точками), либо исключением ряда точек. Интерфейс приложения предусматривает необходимую функциональность. Таблица и карта с точками связаны: выделяем строку в таблице — видим соответствующую точку на карте (она будет крупнее), «клик» (точнее «тап») точки на карте выделит соответствующую строку в таблице. Для исключения (включения) точки достаточно воспользоваться кнопкой в виде языка пламени рядом с кнопкой включения (отключения) триангуляции. Если исключение точек нежелательно, когда рельеф сильно меняется, то лучше выполнить дополнительные измерения в точках, которые также можно определить из анализа картины триангуляции.

Результаты манипуляций с точками представлены на рисунке 7.

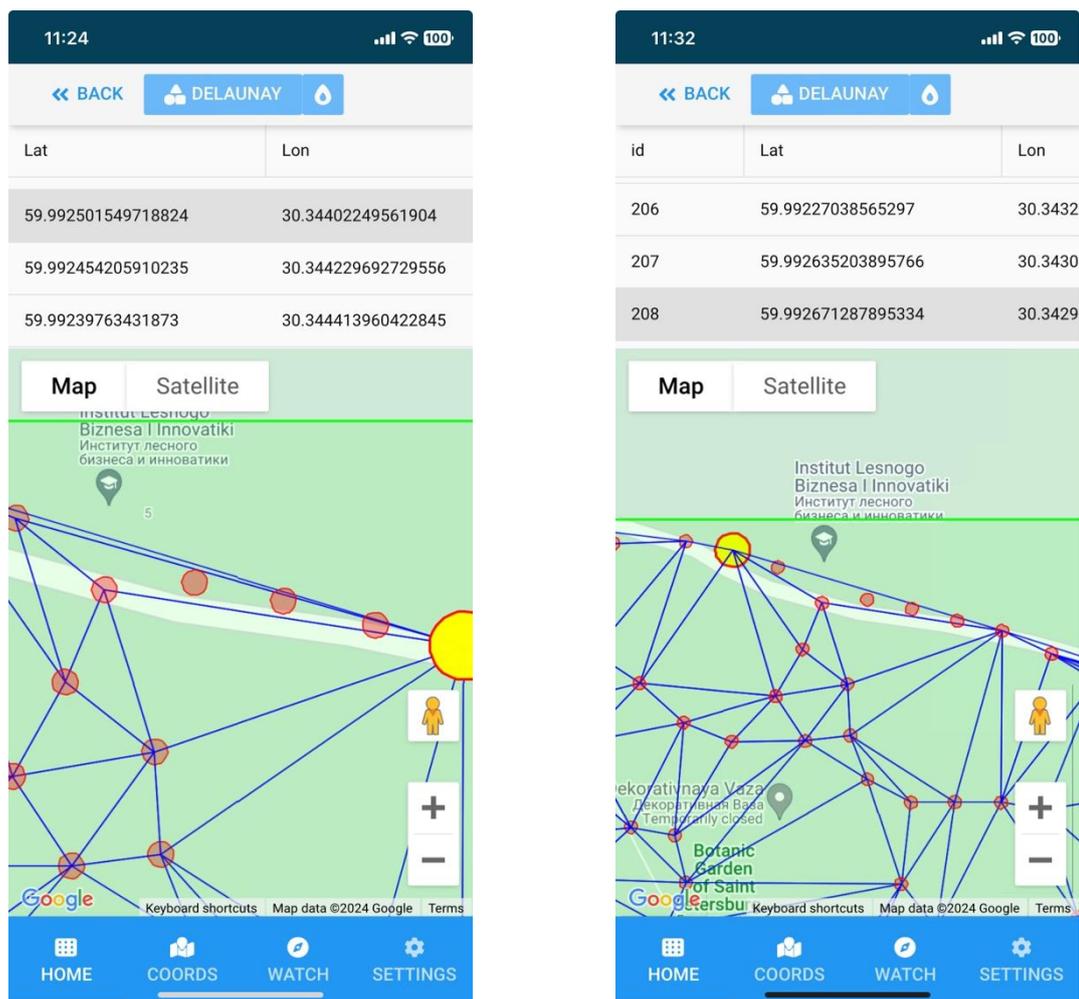


Рис.7. Результаты манипуляций с точками

Неравномерность триангуляции, когда некоторые треугольники слишком вытянуты (имеют слишком острый угол), легко заметить. Дефект можно исправить исключением точек.

На скриншоте слева — результат исключения трёх точек (эти точки «зависают» без рёбер). Можно заметить, что мешает ещё одна точка слева, являющаяся вершиной вытянутого треугольника. Если исключить и эту точку, то получим вполне приемлемый результат с равномерной триангуляцией, представленный на скриншоте справа.

### Библиографический список

1. Алексеев В.Ф. Методика определения нормальных высот рельефа путем совместной обработки космической съемочной информации и данных об опорных пунктах / Астапович А.В., Жбанов К.К., Медяникова Ю.П. // Информация и космос. – 2022, №1. – с.107-116.
2. Васильев Н.П. Прогрессивные веб приложения как альтернатива нативной разработке мобильных приложений на примере электронного журнала преподавателя // Информационные системы и технологии: теория и практика: сб. научн. тр. Вып. 15. – СПб.: СПбГЛТУ, 2023. – с.10-23.
3. Васильев Н.П., Вагизов М.Р., Рендеринг регулярной сетки высот рельефа местности с помощью WebGL и естественной триангуляции // Геодезия и картография. – 2022, № 12. – с. 49-56. DOI: 10.22389/0016-7126-2022-990-12-49-56
4. Васильев Н.П., Каримов Б.М. Связь с внешними серверами из webview мобильной платформы // Информационные системы и технологии: теория и практика: сб. научн. тр. Вып. 13. – СПб.: СПбГЛТУ, 2021. – с.23-33
5. Васильев Н.П. Реализация алгоритма Форчуна расчета диаграммы Вороного на РНР. В сб. "Информационные системы и технологии: теория и практика" Сб. науч. Трудов. Вып.7 СПб, СПбГЛУ, 2015. с. 10-16.
6. Данилов А.А. Способы построения трехмерных поверхностных триангуляций и тетраэдральных сеток // Научно-технический вестник Санкт-Петербургского государственного университета информационных технологий, механики и оптики. – 2010, №1. – с.87-92.
7. Куприянова Ю.В., Лукомский С.Ф. Об оптимальном выборе интерполяционного сплайна по треугольной сетке // Известия Саратовского университета. – 2005. т. 5. Сер. Математика. Механика. Информатика, вып. 1. – с. 26-33.
8. Тюкачев Н.А. Сглаживание триангулированной поверхности // Вестник ВГУ, серия: системный анализ и информационные технологии. – 2010, №2. – с. 33-38.
9. Чекмарёв Д.Т. О гладкой интерполяции триангулированной поверхности / Абузьяров М.Х., Cheng Wang // Проблемы прочности и пластичности. – 2020, т.82, №2. – с.147-155.
- 10.M. Brach. Rapid Static Positioning Using a Four System GNSS Receivers in the Forest Environment // Forests. – 2022, 13. DOI: 10.3390/f13010045
- 11.G. Farin. Triangular Bernstein-Bezier patches // Computer Aided Geometric Design. – 1986, 3(2). – p. 83-127. DOI:10.1016/0167-8396(86)90016-6
- 12.A. Vlachos, J. Peters, C. Boyd, J. Mitchell. Curved PN triangles // In: Proceedings of the 2001 Symposium on Interactive 3D Graphics. – 2001. – p.159-166. DOI:10.1016/0167-8396(86)90016-6

**К.И. Замышляев**, оператор научной роты  
Военная академия материально-технического обеспечения  
имени генерала армии А.В. Хрулёва,  
korsakovkpss@gmail.com

**Д.В. Полынский**, оператор научной роты  
Военная академия материально-технического обеспечения  
имени генерала армии А.В. Хрулёва,  
navohudonosor96@mail.ru

**М.П. Филяев**, профессор, доктор технических наук  
Кафедра информационных систем и технологий  
СПбГЛТУ им. С. М. Кирова  
mastkon@yandex.ru

## **ПРИМЕНЕНИЕ СЖАТИЯ ВЕКТОРНЫХ ПРЕДСТАВЛЕНИЙ В ЗАДАЧЕ ПОЛНОТЕКСТОВОГО ИНФОРМАЦИОННОГО ПОИСКА**

### **APPLICATION OF VECTOR REPRESENTATION COMPRES- SION IN THE PROBLEM OF FULL-TEXT INFORMATION SEARCH**

***Аннотация.** В статье рассмотрены актуальные вопросы, связанные с решением задач полнотекстового поиска. На основе анализа известных методов сжатия векторных представлений и моделей глубокого обучения, позволяющих получать рассматриваемые векторные представления, установлено, что снижение ресурсоемкости и сокращение времени решения задач полнотекстового поиска возможно на основе интеграции различных известных методов и моделей. Предложен новый подход к построению системы полнотекстового поиска на основе совместного применения метода сжатия векторных представлений Product Quantization и модели для взаимодействия с документом – ColBERT.*

***Abstract.** The article discusses current issues related to solving full-text search problems. Based on the analysis of known methods for compressing vector representations and deep learning models that make it possible to obtain the vector representations in question, it has been established that reducing resource intensity and reducing the time for solving full-text search problems is possible through the integration of various well-known methods and models. A new approach to building a full-text search system is proposed based on the joint application of the Product Quantization vector representation compression method and a model for interaction with a document - ColBERT.*

**Ключевые слова:** выброс, информационный поиск, квантование, кодировщик, лабораторный стенд, обработка естественного языка,

*рекуррентная нейронная сеть, свёрточная нейронная сеть, токенизация, эмбединг.*

**Keywords:** *ejection, information retrieval, quantization, encoder, laboratory bench, natural language processing, recurrent neural network, convolutional neural network, tokenization, embedding.*

История развития информационных систем и технологий неразрывно связана с расширением применения и возможностей поиска различной по содержанию и формату цифровой информации – текстовой, аудио, графической, растровой, видео и т.д. Вместе с тем объемы анализируемой при поиске информации постоянно возрастают, что в свою очередь обуславливает не только необходимость увеличения объемов памяти применяемой при этом компьютерной техники, но и используемых вычислительных ресурсов в целом.

Одним из актуальных направлений информационного поиска является поиск полнотекстовых данных. Для его реализации, как правило, текстовые данные преобразуют в векторные представления. Среди последних уже и осуществляется поиск по сходству, который в свою очередь также может потребовать большие объемы памяти в зависимости от используемой коллекции и методов обработки данных.

Поэтому в настоящее время актуальным является решение проблемного вопроса, связанного с уменьшением используемой памяти компьютера, как для хранения данных, так и непосредственно для поиска по запросу. Существующие подходы, применяемые для различных типов данных и задач, в основном ориентированы на сокращение размерности, потому что в зависимости от задачи и используемого метода приходится работать с векторными представлениями, размерность которых весьма значительна.

Модель векторного пространства – это основа для современной работы с текстом, которая представляет собой алгебраическую модель с набором объектов, называемых векторами или числовыми представлениями слов, предложений или документов [1]. Основная причина преобразования текстовой информации в векторные представления заключается в том, что так открывается возможность использования метрик, которые могут определить степень сходства между векторами для начальных текстовых предложений, например, косинусное сходство или измерение расстояния [2, 3].

В зависимости от выбранного метода преобразования размерность векторов может достигать до нескольких сотен измерений, ввиду чего нужно использовать большие объемы памяти для их хранения. Для решения данной проблемы используют уменьшение размерности, которое представляет собой поиск некоторого набора признаков, который может описать большой набор многомерных данных. Такое сжатие очень полезно при поиске компактного представления используемых данных, устранении проклятия размерности многомерных пространств, сокращении времени вычислительной обработки, а также при визуализации данных.

Уменьшение размерности может быть линейным и нелинейным. Линейное уменьшение размерности преобразует данные в пространство с уменьшенной размерностью, используя линейную комбинацию исходных переменных.

Примером линейного метода является, например, анализ главных компонент (PCA), смысл которого основан на том, что с каждой главной компонентой связана определённая доля общей дисперсии или нагрузки исходного набора данных [4]. Линейными методами уменьшения размерности данных являются также дискриминантный анализ (LDA) [5], многомерное масштабирование (MDS), также известное как анализ главных координат [6].

Если исходный набор данных с высокой размерностью содержит нелинейные взаимосвязи, то используются методы уменьшения размерности с нелинейностью, основанные на так называемом эмбединге – представлении слова или фразы в виде вектора в многомерном пространстве, например, ISOMAP [7], LPP [8], t-SNE [9], LLE [10].

Кроме рассмотренного разделения методов сжатия есть и другие, которые не относят к определенной категории, одним из таких является метод квантования продукта Product Quantization (PQ) [11]. Идея метода состоит в том, чтобы разложить пространство на декартово произведение низкоразмерных подпространств и квантовать каждое подпространство отдельно.

Следует отметить, что сам метод PQ не является методом уменьшением размерности, так как для поиска он все еще использует основную размерность. Однако значения в сжатом векторе теперь преобразованы в короткие коды, и поэтому они являются символьными, а не числовыми. При таком представлении размер каждого вектора коллекции значительно уменьшается. Метод PQ отличается от остальных тем, что конечный результат представляет собой кодовую книгу, которая хранит для оригинального векторного представления набор кодов, обозначающие индекс центроида для определенного сегмента вектора. При этом также, как и большинство методов, основной набор данных сжимается вместе, поэтому не получается определить точно такое же представление, как и для коллекции. Однако данный метод предлагает быстрый и удобный поиск среди сжатых векторов.

Перед тем как работать над сжатием векторных представлений в области полнотекстового поиска, в частности, эти векторные представления, прежде всего, необходимо получить. В последнее время для этого все чаще используются модели глубокого обучения, которые позволяют достаточно быстро получить набор векторов, в котором каждому слову представлен свой вектор. Наиболее известными в настоящее время являются следующие:

1. Word2Vec – представляет собой модель, используемую для изучения векторных представлений слов, называемых «вложениями слов», которые могут передавать их семантику, а также синтаксические, смысловые или грамматические отношения [12].

2. Transformers или Преобразователь – это нейронная сеть, которая представляет собой новую архитектуру, отличающуюся от используемых RNN и CNN сетей для обработки задач NLP [13].

3. BERT – является одной из первых языковых моделей, основанных на архитектуре Преобразователей для обработки естественного языка. Архитектура Преобразователя позволяет чрезвычайно эффективно распараллелить машинное обучение. Таким образом, массовое распараллеливание делает возможным обучение BERT на больших объемах данных за относительно короткий период времени [14].

4. ColBERT – представляет собой новую модель ранжирования, которая адаптирует такие модели как BERT для эффективного полнотекстового поиска [15]. ColBERT представляет архитектуру позднего взаимодействия (рисунок 1), где текст запроса отдельно кодируется в набор вложенных токенов фиксированной длины, а текстовый документ кодируется в набор вложений токенов. Это решает проблему значительного использования памяти при поиске текста.

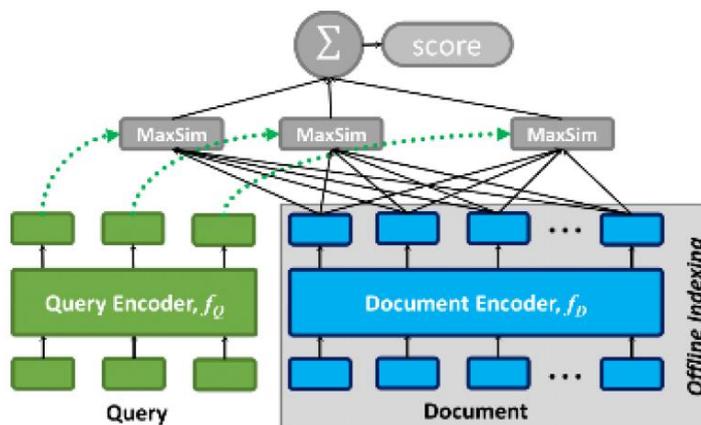


Рис.1. Модель ColBERT

Несмотря на важность уменьшения потребляемых ресурсов при работе с данными, необходимо также сохранять приемлемую точность модели. Кроме визуальной оценки полученного результата со стороны пользователя можно по-другому оценить точность работы. Для этого используются методы DCG, nDCG, MRR [16]. Важно отметить, что при таком способе оценивания необходимо иметь размеченные данные, чтобы понимать, действительно ли ответ наиболее близкий запросу или в коллекции был куда более близкий документ.

Результаты проведенного сравнительного анализа методов уменьшения размерности и моделей глубокого обучения показали, что снижение ресурсоемкости и сокращение времени решения задач полнотекстового поиска возможно на основе интеграции различных известных методов и моделей. При этом для формирования интегрированного варианта построения рассматриваемой системы необходимо, прежде всего, обосновать выбор метода сжатия векторных представлений, модели обучения и, собственно, алгоритм поиска документов на основе векторов.

В связи с этим, новый предлагаемый вариант построения системы полнотекстового поиска включает в себя применение метода сжатия векторных представлений Product Quantization и модели для взаимодействия с документом – ColBERT.

Метод PQ был выбран ввиду того, что он отвечает следующим важным критериям:

1. Возможность сжать исходные векторные представления автономно, то есть до непосредственной работы модели.

2. Возможность дополнительной модификации метода для улучшения качества работы модели.

3. Малое время сжатия данных.

Вместе с тем, PQ позволяет заранее создать кодовую книгу, а на практике быстро проводить запрос через нее для поиска ближайших документов.

Модель ColBERT также была выбрана ввиду того, что наиболее всего подходила среди остальных моделей по следующим критериям:

1. Работа с векторным представлением слов.

2. Возможность разделения работы с коллекцией документов и текстовым запросом.

3. Высокая оценка качества предложенного подхода, которая основывается на результатах решения задач в области информационного поиска.

4. Возможность применения с новыми, еще не исследованными решениями.

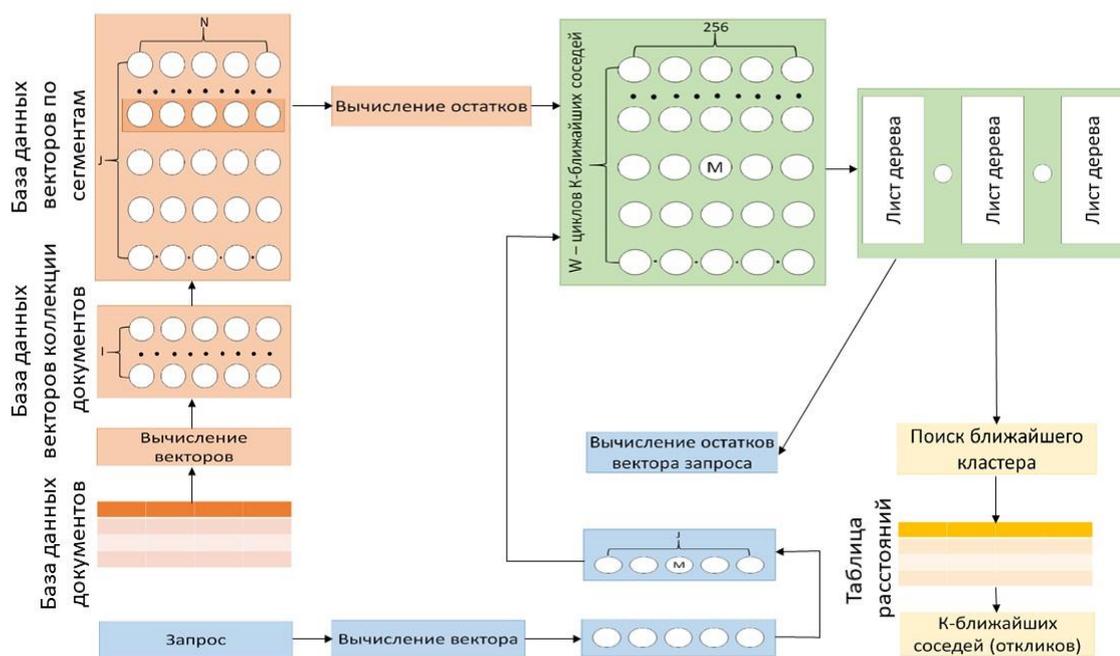
Наиболее важное преимущество модели, предлагаемой для реализации варианта системы полнотекстового поиска, заключается в возможности предварительной обработки данных без использования всей коллекции во время поиска ответа на запрос.

Схема разработанной модели для решения задачи полнотекстового поиска представлена на рисунке 2.

В общем виде, функционирование системы может быть представлено следующим образом.

Используя выбранную нейронную сеть, вычисляются векторные представления коллекции документов, которые будут использованы для построения индекса коллекции. На следующем этапе каждое векторное представление разбивается на мелкие сегменты, которые заполняются псевдослучайным образом из оригинального вектора.

Новые сегменты обрабатываются в соответствии с алгоритмом K-means до его полного завершения, затем находятся остатки векторов, после чего процесс прохода K-means повторяется. Данные шаги продолжаются до тех пор, пока значение коэффициента детерминации не достигнет требуемого.



**Рис.2.** Схема предлагаемой модели

Следующим шагом является построение кодовой книги на основе сделанного ранее разбиения и поиска центроид в каждом сегменте. Таким образом, выстраивается дерево, через которое нужно пройти для получения остаточных векторов с последующим вычислением расстояний через кодовую книгу. Для сокращения области поиска документы разбиваются на области, поиск по которым сначала происходит через их центроиду. Так как не исключены случаи, когда наиболее релевантный к запросу документ может оказаться близко, но в другом кластере, для дальнейшего поиска рассматривается фиксированное количество областей.

Завершив построение индекса, начинается работа по поиску запроса среди документов. Для этого запрос таким же псевдослучайным образом разбивается на сегменты и двигается по построенному дереву следующим образом. Рассчитывается евклидово расстояние и определяется ближайший центроид на текущем уровне дерева. После этого, чтобы спуститься ниже, вектор запроса вычитает вектор ближайшего центроида. Достигнув нижнего уровня, рассчитывается расстояние до документов, которые находятся в определенных областях, центроид которого был ближе всего к запросу. Затем данный список сортируется и подается на выход пользователю, что означает конец работы системы.

Для оценки предложенного варианта системы использовались следующие критерии: используемый объем памяти, точность работы модели, время на поиск запроса. Чтобы оценить точность модели, было решено использовать оценку MRR. Она отлично подходит для рассматриваемой задачи, так как итоговая оценка рассчитывается на основе позиции наиболее ближайшего векторного представления документа к запросу. Также для более подробной оценки эффективности предложенная система была сопоставлена с оригинальным ColBERT для оценки точности и BM25 для срав-

нительной оценки скорости работы. Для тестирования использовались различные варианты построения лабораторного стенда, тестирование проводилось для 500 запросов с одинаковой коллекцией документов с выдачей 5 наиболее релевантных ответов.

Начальная версия стенда имеет близкие к ColBERT показатели, как по используемой памяти, так и по точности. В обоих случаях не использовалось сжатие начальных векторных представлений и поиск среди них проходил методом перебора. Поэтому среди представленных вариантов они имеют наибольший результат по среднему использованию памяти на запрос.

Таблица 1

**Результаты оценки различных вариантов организации поиска по запросу**

	Среднее время поиска по одному запросу, с.	Точность модели при 500 запросах	Средний объем используемой памяти для одного запроса, МВ
Начальная версия стенда с евклидовой метрикой	0,183	0,86	0,08775
Стенд с использованием PQ	0,216	0,79	0,034894
Стенд с использованием PQ и модификаций	0,201	0,84	0,03627
Окарі BM25	0,015	0,45	0,0073
ColBERT	0,197	0,87	0,0934

Добавление метода PQ показало, что снизилась как точность работы модели, так и используемая память – основная оцениваемая характеристика. Внедряя дополнительные модификации для стенда, можно было отметить некоторое повышение точности вместе с используемой памятью. Это объясняется тем, что целенаправленный поиск вместо полного перебора, предполагает перед его началом вычисление остаточных векторов, что и влияет на рост используемой памяти. При масштабировании данных эффект от используемых решений будет более заметен, ведь как отмечалось ранее, на мелких наборах данных может быть сопоставимая по времени поиска и памяти работа модели. Однако ввиду технических ограничений такая модель не смогла показать результат на крупном наборе данных.

Начальный алгоритм работы модели достаточно близок к алгоритму ColBERT, поэтому верхняя оценка после изменения варианта построения стенда никогда не превысит значения ColBERT по точности, однако способна превзойти его по используемой памяти. Сравнивая полученное решение с BM25 можно отметить, что нижняя отметка точности не была преодолена, однако, несмотря на низкую точность, данный алгоритм показал наилучший результат по используемой памяти. При максимальном сжатии векторных представлений с использованием рассмотренных методов до двух или трех измерений можно получить более приближенные ре-

зультаты, однако от такого решения модель может сильно потерять в точности.

Также, несмотря на использование метода PQ в качестве основного метода сжатия данных для реализованного стенда были использованы и протестированы другие методы, представленные ранее. Они показали высокую точность поиска по запросу, сопоставимую, но не превышающую PQ. Однако анализ результатов позволяет отметить, что использование данных методов ведет к повышенному использованию памяти и скорости работы. Это связано с тем, что некоторые подобные методы не могут применить сжатие для новых данных, т.е. сжать отдельно от основной группы.

Вследствие этого не получилось полностью оценить метод t-SNE, так как еще на стадии сжатия основного набора данных он сильно превысил время их обработки, что в потоке из нескольких запросов может стать критично для поисковой системы. Поэтому определенные методы, которые предлагают возможность быстрого сжатия данных на практике или отдельного от основной коллекции сжатия запроса, также могут подходить для решения задачи полнотекстового поиска.

Преимущество построенной модели заключается в высокой точности поиска запросов при меньшем использовании памяти за счет использования диаграмм Вороного [17] и метода Product Quantization, а также возможности автономного сжатия данных перед обработкой запросов. Также за счет использования метода остаточных векторов, которые сжимают область векторных представлений, повышается точность, сниженная использованием предыдущих методов.

В будущем для повышения точности работы модели можно ввести дополнительную оценку релевантности документов на основе тех, что выдала текущая модель, однако это потребует дополнительного использования памяти, которое будет зависеть от выбранного алгоритма. В качестве дальнейших исследований можно также рассмотреть используемую модель при векторных представлениях, получаемых от различных нейронных сетей. Например, оценить эффективность таких методов на старшей модели BERT-large, которая включает большее количество измерений для вектора или сокращенные модели, которые включают около 128 измерений.

Также следует оценить данную модель на большем количестве данных ввиду того, что при масштабировании проблема использования памяти будет значительно серьезнее и эффект от используемых методов заметнее.

### **Библиографический список**

1. Vector Space Model [Электронный ресурс] - URL: <https://blog.marketmuse.com/glossary/vector-space-model-definition/> (дата обращения: 17.01.2024).
2. Vector Space Models [Электронный ресурс] - 2020. - URL: <https://towardsdatascience.com/vector-space-models-48b42a15d86d> (дата обращения: 17.01.2024).

3. Euclidean and Manhattan distance metrics in Machine Learning [Электронный ресурс] -2020. - URL: <https://medium.com/analytics-vidhya/euclidean-and-manhattan-distance-metrics-in-machine-learning-a5942a8c9f2f> (дата обращения: 27.01.2024).
4. PCA for Beginners [Электронный ресурс]. - URL: <https://www.turing.com/kb/guide-to-principal-component-analysis> (дата обращения: 27.01.2024).
5. Linear Discriminant Analysis, Explained [Электронный ресурс] - 2020. - URL: <https://towardsdatascience.com/linear-discriminant-analysis-explained-f88be6c1e00b> (дата обращения: 28.01.2024).
6. Multidimensional scaling (ALSCAL) [Электронный ресурс] - 2021. - URL: [https://www.ibm.com/docs/fr/spss-statistics/beta?topic=SSLVMB\\_subs/statistics\\_main\\_help\\_ddita/spss/base/idh\\_alsc.htm](https://www.ibm.com/docs/fr/spss-statistics/beta?topic=SSLVMB_subs/statistics_main_help_ddita/spss/base/idh_alsc.htm) (дата обращения: 28.01.2024).
7. Isomap Embedding - An Awesome Approach to Non-linear Dimensionality Reduction [Электронный ресурс] - 2021. - URL: <https://towardsdatascience.com/isomap-embedding-an-awesome-approach-to-non-linear-dimensionality-reduction-fc7efbca47a0/> (дата обращения: 30.01.2024).
8. Locality Preserving Projections [Электронный ресурс]. - URL: [https://proceedings.neurips.cc/paper\\_files/paper/2003/file/d69116f8b0140cdeb1f99a4d5096ffe4-Paper.pdf](https://proceedings.neurips.cc/paper_files/paper/2003/file/d69116f8b0140cdeb1f99a4d5096ffe4-Paper.pdf) (дата обращения: 30.01.2024).
9. Dimension Reduction - t-SNE [Электронный ресурс] - 2018. - URL: <https://blog.paperspace.com/dimension-reduction-with-t-sne/> (дата обращения: 30.01.2024).
- 10.LLE: Locally Linear Embedding - A Nifty Way to Reduce Dimensionality in Python [Электронный ресурс] - 2021. - URL: <https://towardsdatascience.com/lle-locally-linear-embedding-a-nifty-way-to-reduce-dimensionality-in-python-ab5c38336107> (дата обращения: 30.01.2024).
- 11.Product Quantization: Compressing high-dimensional vectors [Электронный ресурс] - 2021. - URL: <https://www.pinecone.io/learn/product-quantization/> (дата обращения: 30.01.2024).
- 12.Word2Vec Explained [Электронный ресурс] - 2021. - URL: <https://israelg99.github.io/2017-03-23-Word2Vec-Explained/> (дата обращения: 30.01.2024).
- 13.What Are Transformer Models and How Do They Work? [Электронный ресурс] - 2021.- URL: <https://txt.cohere.com/what-are-transformer-models/> (дата обращения: 30.01.2024).
- 14.BERT Explained: State of the art language model for NLP [Электронный ресурс] - 2021. - URL: <https://towardsdatascience.com/bert-explained-state-of-the-art-language-model-for-nlp-f8b21a9b6270> (дата обращения: 30.01.2024).

15. Omar Khattab, Matei Zaharia ColBERT: Efficient and Effective Passage Search via Contextualized Late Interaction over BERT // arXiv: 2004.12832. - 2020.
16. Метрики качества ранжирования [Электронный ресурс] - 2016. - URL: <https://habr.com/ru/companies/econtenta/articles/303458/> (дата обращения: 30.01.2024).
17. Диаграмма Вороного и её применения [Электронный ресурс] - 2016. - URL: <https://habr.com/ru/articles/309252/> (дата обращения: 02.02.2024).

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

## **О НЕКОТОРЫХ ОСОБЕННОСТЯХ СМАРТ-КОНТРАКТОВ, РЕАЛИЗУЕМЫХ В БЛОКЧЕЙН СИСТЕМЕ**

### **ABOUT SOME FEATURES OF SMART CONTRACTS, IMPLEMENTED IN THE BLOCKCHAIN SYSTEM**

*Аннотация:* рассматриваются особенности смарт-контрактов и их структур, технологии блокчейн для их реализации.

*Annotation:* discusses the features of smart contracts and their structures, blockchain technologies for their implementation.

*Ключевые слова:* блокчейн, транзакция, смарт-контракты.

*Keywords:* blockchain, transaction, smart contracts.

Процесс цифровой трансформация, планомерно реализуемый во всех отраслях экономики, проходит на основе поиска и применения инновационных технологий, одной из которых является использование смарт-контрактов при заключении и исполнении бизнес-договоров, реализуемых в блокчейн системах [1-3].

Слишком часто цепочки поставок затруднены бумажными системами, где формы должны пройти через множество каналов для утверждения, что увеличивает риск потерь и мошенничества. Блокчейн сводит это на нет, предоставляя защищенную, доступную цифровую версию всем участникам контракта и автоматизируя задачи и платежи.

В идеальной ситуации стороны сделки добросовестно исполняют то, о чём договорились. Но в реальной жизни деятельность сторон периодически отклоняется от оговоренных условий договора. Это может происхо-

дять, например, если они неверно понимают условия договора, либо намеренно искажают их суть. Либо все участники всё понимают, но сознательно игнорируют выполнение условий. Устранение таких ситуаций обеспечивают технологии так называемых «умных» контрактов или смарт-контрактов, реализуемых в блокчейн системах после запуска их проверенной транзакцией.

Для правильного выполнения договоров смарт-контракт ограничивает волю сторон на стадии исполнения, он делает так, чтобы обязательства в большей части не зависели от сторон и ошибок участников, а исполнялись сами, а следовать соглашению будет программный алгоритм.

С помощью смарт-контрактов логистические компании могут устанавливать цепочку движения груза, которая позволяет отслеживать 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.

Фиксация условий, расчётов (формул) в среде смарт контракта, вызывающей доверие всех сторон, позволяет сделать процесс прозрачным, снизить издержки на администрирование.

Все эти действия смарт-контракта могут исполняться как определенный сценарий, «привязанный» к блокчейн. Как только он запускается транзакцией в блокчейне и проверяется в сети, выполняются predetermined действия, отраженные в смарт-контракте. Поскольку условия смарт-контракта прозрачно хранятся в блокчейне, он всегда будет работать так, как задумали все стороны, что может уменьшить проблемы доверия между вовлеченными сторонами. Работа смарт-контракта — это исполнение программного кода, который реализуется и фиксируется в блокчейне.

Разработанные пользовательские бизнес-приложения вызывают и инициируют смарт-контракт для выполнения согласованных действий в заранее определенном бизнес-процессе. В процессе исполнения запускается логика смарт-контракта и автоматически выполняются заранее заложенные в нём условия.

Любой смарт – контракт размещается по определенному адресу в узле блокчейн сети и запрограммирован для осуществления задач по договору в строго определенной последовательности и при обязательном наступлении и выполнении predetermined условий. Эти условия записываются, проверяются и исполняются автоматически в соответствии с компьютерным алгоритмом в блокчейн среде.

Блокчейн среда запуска и исполнения смарт-контрактов предоставляет надежное окружение, обеспечивающее прозрачность взаимодействия и подлинность отслеживания совершаемых операций. Это аналог договора, но в виде программного кода, задающего алгоритм конкретных действий и фиксирующего определенные условия, которые должны быть выполнены сторонами, заключившими такой договор. При соблюдении установлен-

ных смарт-контрактом договоренностей автоматически запускается последовательность действий по принципу «если... то».

Обладая общими свойствами и характеристиками структуру смарт-контракта, его компоненты и связь его с блокчейн сетью можно отобразить следующей схемой (рисунок 1).

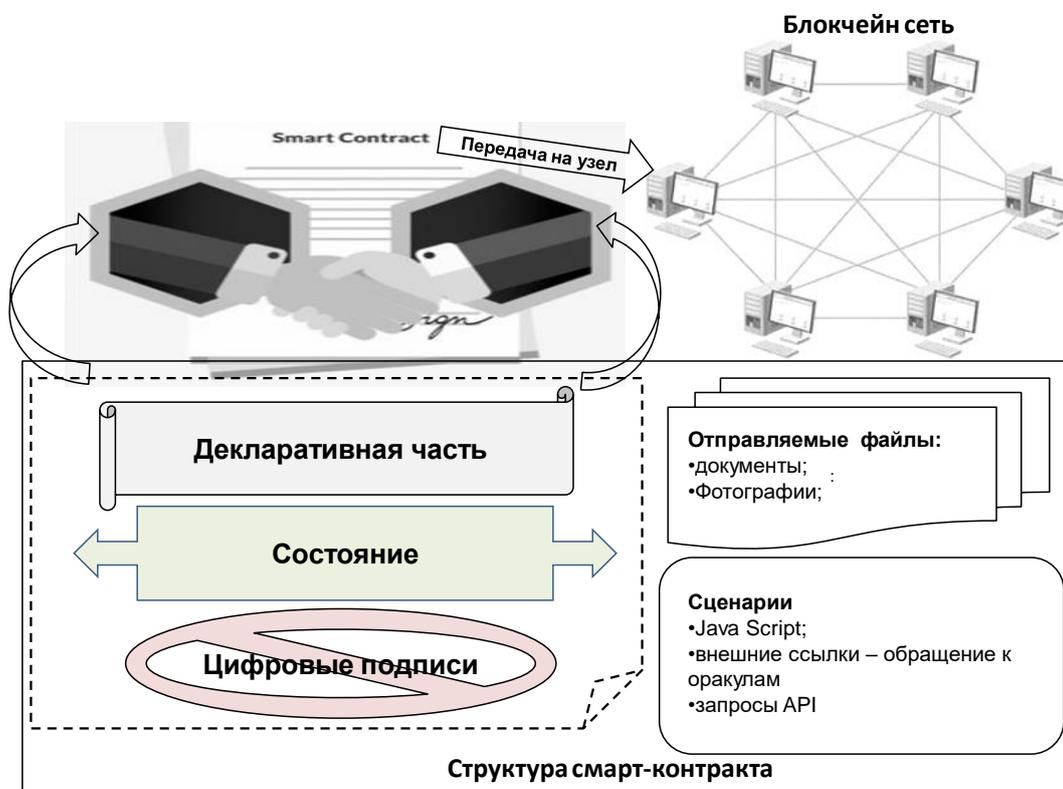


Рис. 1. Структура смарт-контракта, его компоненты и связь его с блокчейн сетью

До попадания в блокчейн сеть и активации на выполнение, смарт – контракт хранится на стороне клиента за пределами сети и его компоненты и структура проверяются локально.

В смарт – контракте можно условно выделить две части. Важно заметить, что компоненты первой части, включающей декларативную часть, состояние, цифровые подписи передается на узел блокчейн сети после идентификации подтверждающей участника договора и далее они транслируется на все узлы для «одобрения» сетью.

Вторая часть смарт – контракта может включать различные компоненты необходимые при его выполнении.

Рассмотрим каждую из частей подробно.

**Декларативная часть (recital).** Это общие заявления, которые обычно появляются в самом начале договора. Здесь кратко излагаются цели и задачи, факты и события, послужившие основанием для заключения контракта. Они служат для того, чтобы дать общее представление о предстоящей сделке, а также они отвечают на вопросы побудившие заключить сделку. Декларативная часть помогает в случае возникновения споров или в отношении интерпретации заключаемого договора, так как она, по сути, является выражением намерений и здесь же перечисляются наиболее важ-

ные причины, побудившие стороны заключить данный договор. Здесь также могут задаваться и описываться ключевые бизнес-процессы и определяются данные, которые необходимы для их реализации и совместного использования участниками договора.

**Состояния.** Фактически по своему содержанию договора (контракты) определяют бизнес-модели, которые регулируют все взаимодействия между сторонами в ходе их выполнения. В реализуемых моделях умных контрактов могут выполняться правила управления бизнес-объектом любого типа и логикой их использования. Здесь же записываются и отслеживаются все состояния поэтапного исполнения контракта, а также требования условия к выполнению этапов и недопустимые или ошибочные ситуации. Каждое состояние характеризуется условиями попадания в него. Условия могут быть записаны в коде смарт-контракта или представлены в виде данных, передаваемых в контракт. Широкие содержательные и функциональные возможности позволяют смарт-контрактам фиксировать и отображать различные состояния объектов, регламентировать и мониторить процессы, которые переводят их из одного состояния в другое. В смарт-контрактах задаются и описываются ключевые бизнес-процессы и определяются данные, которые необходимы для их реализации и совместного использования участниками договора. Смарт-контракты могут быть адаптированы на любую бизнес логику, обеспечивая автоматизацию задач различного характера, выражая и отслеживая условия выполнения и реагируя на эволюцию состояний бизнес процесса и события, генерируемые участниками или другими смарт-контрактами.

Здесь же прописываются методические рекомендации, руководящие принципы в соответствии с которыми эволюционирует бизнес процесс.

**Цифровые подписи.** По существу, смарт-контракты состоят из кода контракта (содержащего условия выполнения) и двух публичных ключей. Первый публичный ключ предоставлен создателем контракта. Другой ключ представляет собой сам контракт, являясь цифровым идентификатором, уникальным для каждого смарт-контракта.

Каждая сторона выполняет действия для подписания контракта, "смарт-контракт" самостоятельно устанавливает, все ли условия исполнены, какие нарушения допущены, принимает соответствующие решения об исполнении и завершении сделки.

После идентификации пользователей в системе дальнейшее их поведение подчиняется алгоритму компьютерной программы, организующей сеть, а лицо, "покупающее" тот или иной виртуальный объект (цифровое право), получит этот объект автоматически при наступлении указанных в пользовательском соглашении обстоятельств. Тем самым воля, направленная на заключение договора, в такой сделке включает в себя и волю, направленную на исполнение возникшего обязательства [4].

Вторая часть смарт – контракта характеризуется следующим, автоматическая реакция смарт-контракта на определённые события обеспечи-

вается получением информации о таких событиях путем получения данных и передачи их в алгоритм. Обычно такие данные различают по видам:

После получения и обработки входных данных смарт-контракт может совершать определённые действия:

- фиксировать информацию записью в блокчейн как результат любых операций, выполненных смарт-контрактом, например, это может быть запись о переходе прав, передаче актива или любых других событиях и изменениях;
- запускать платёж с помощью специального механизма взаимодействия с банком. Если же банк является участником сети, то он может взаимодействовать со смарт-контрактом «внутри» системы и инициировать перевод на основе записи из блокчейна;
- выгружать данные в систему вне периметра блокчейн в базу данных, например, во внутренней информационной системе предприятия;
- передавать данные на физические устройства, например, Интернета вещей и других технологий, которые позволяют управлять устройствами в дистанционном режиме, смарт-контракт может инициировать события во внешнем мире. Он может не только оперировать данными из датчиков и устройств, но и инициировать различные действия последних — отключать устройства, блокировать доступ и т. п.

Что же собой представляет смарт контракт с формальной точки зрения программиста-разработчика?

Смарт-контракт - это автономный скрипт, обычно написанный на языке программирования выбранной блокчейн платформы, скомпилированный в двоичный формат или JSON и развернутый по определенному адресу в блокчейне [5].

Код смарт-контракта можно представить как сложный структурированный файл, состоящий из трех секций: **data** (данные) - используется для описания входящих данных (имена переменных и их типы); **onditions** (условия) - реализует проверку входных данных на корректность; **action** (действие) - содержит описание действия контракта.

В head (голове) файла смарт-контракта могут прописываться его участники. Обычно на один файл приходится один смарт-контракт - у контрактов может быть различный жизненный цикл, и поэтому при нескольких контрактах разумно их «развести» по разным файлам.

В начале кода контракта прописывается ключевое слово **contract**, после которого указывается имя контракта. Тело контракта заключается в фигурные скобки, в нем отображаются коды активов и условий контракта.

Далее вверху файла может быть записано определение смарт-контракта в виде класса. Класс снабжается аннотацией. Это дает возможность предоставить дополнительную информацию о контракте, такую как, например, номер лицензии и имя автора.

Аннотация сигнализирует также о том, что этот класс контракта является заданным по умолчанию. Обозначить класс контракта «по умолчанию» иногда полезно в смарт-контрактах, у которых имеется множество классов.

Контракт может использовать встроенные свойства классов, такие как автоматический вызов метода, обработчики транзакций, и разделяемое классами состояние. Внутри класса находится нужный метод. **Методы (или функции) контракта** это блоки кода, выполняющие определённую роль. Они задают поведение контракта и варианты его использования. Определение любого метода начинается со слова "function", затем следует его имя.

Функции метода передаётся управление, как только контракт вызывается для того, чтобы начать его исполнение. Далее происходит определение условий выполнения контракта участниками на определенном этапе. Так для транзакции - создание смарт-контракта вызываются методы, помеченные аннотацией `ContractInit`. Для транзакций вызов смарт-контракта на исполнение — методы, помеченные аннотацией `ContractAction`.

Коды смарт-контракты хранятся в цифровом виде в блокчейне и вступают в силу после выполнения всех условий. Они также могут взаимодействовать с внешними системами через оракулов блокчейна, которые позволяют им получать и сопоставлять данные с внешними ресурсами.

Смарт-контракт, реализованный на программном языке позволяет минимизировать возможность различной/неправильной интерпретации договора участниками взаимодействия.

Программный код любого смарт-контракта помещается в защищенный контейнер и он изолирован от процесса одобрения, то есть он неизменен. Смарт-контракт криптографически подписывается сторонами сделки и запускается на исполнение на доверенной платформе.

Активация умного контракта и выполнение запрограммированных действий происходит из блокчейн-транзакции, и может быть активирован при инициации личным аккаунтом (или другим смарт-контрактом). Однако запускается смарт-контракт всегда с личного аккаунта то есть пользователем со своего узла.

Смарт-контракт контролирует условия договора и при их выполнении автоматически исполняются его обязательства. Для автоматического исполнения смарт-контракта все условия и обязательства договора должны быть программно доступны, то есть смарт-контракт может существовать только внутри системы, которая обеспечивает ему постоянную связь с исполняемым кодом, так как код смарт-контракта изучает, проверяет и исполняет условия соглашения без вмешательства извне. Для возможности совершения транзакций, которые объединяют один или несколько контрактов, участники должны определить их набор, прописать в них общие и специальные условия, определить данные и правила их применения, детализировать процессы.

При этом транзакция сначала проверяет имя текущего участника и то, что актив находится в состоянии перемещения, и только после этого меняет участника. Последовательность простейшая - сначала проверить какие-то обязательные предусловия, затем установить в состоянии имя нового участника, изменить состояние актива в реестре, а потом предоставить ответ транзакции в виде измененного статуса актива.

Исполнение условий, заложенных в смарт-контракты, часто зависит от информации, находящейся в сторонних информационных системах. Для получения данных из внешних источников и использования их работы смарт-контрактов, используются специализированные сервисы – оракулы. Оракулы являются основным механизмом для связи блокчейн с внешним миром.

Оракул представляет собой своеобразный мост между блокчейн-платформой и источником информации, находящимся за периметром блокчейн системы. Оракулом может быть любой объект, который передает внесетевые данные в блокчейн, где узлы производят транзакции по заданному шаблону.

Случается, что внутри смарт-контракта происходит слишком много вычислений в этом случае также можно подключить оракул для вычислений.

Так как в транзакциях блокчейн системы 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.

Ключевым преимуществом блокчейна является его способность децентрализованно сохранять неизменяемые блоки, в которых может быть записано происхождение лесной продукции, ее месторасположение, маршрут, даты перемещения и другие параметры отраженные в договоре с помощью неизменных и защищенных от несанкционированного доступа данных, это повышает прозрачность и наглядность поставок, а также создает новые возможности для привлечения потребителей убедительными и поддающимися проверке описаниями происхождения лесной продукции.

Сложные и ответственные контракты желательно проконтролировать до его реального использования. Одним из способов решения данной задачи является применение формальной верификации смарт-контрактов. Не вдаваясь в тонкости этой процедуры отметим, что формальная верификация – моделирование системы, которое позволяет увидеть и проверить правильность функционирования моделируемой, в нашем случае блокчейн системы, и выявить ее слабые стороны.

Формальную верификацию можно воспринимать, как вид тестирования, причем как оценку снизу, верифицирую, есть гарантия, что система отработает по описанному сценарию и не даст сбоев в логике.

Также формальная верификация может служить мостом для понимания между разработчиком контракта и его заказчиком. Зачастую заказчики хотят быть уверены, что рпзработанный смарт-контракт выполняет именно те действия и по тем условиям, о которых договорились стороны договора. Но как в этом убедиться, если стороны договора не владеют языками программирования?

Одно из решений – построение автоматов и диаграмм на основе формальной модели смарт-контракта. Диаграммы и графы относительно программного кода имеют меньший порог для восприятия, их легче читать и по ним наглядней и быстрее становится понятно, что именно и как делает смарт-контракт. Стоит отметить, что формальная верификация смарт-контрактов способна играть роль своеобразного аудитора в современной цифровой индустрии.

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.

Умный контракт — это просто программа. Она может бесперебойно работать непрерывно 24\7, а может просто ждать свой черёд для исполнения столько, сколько необходимо. Главное, чтобы блокчейн платформа, на которой смарт – контракт будет развернут, была бы исправна и функционировала.

### **Библиографический список**

1. 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>
2. Заяц А. М. Блокчейн – не только Биткоин. Информационные системы и технологии: теория и практика: сб. научн. тр. Вып. 15 / отв. ред. М. Р. Вагизов. – Санкт-Петербург: СПбГЛТУ, 2023. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=54255120&pff=1>.
3. Заяц А. М. Блокчейн система лесной логистики и поставок лесной продукции. Информационные системы и технологии: теория и практика: сб. научн. тр. Вып. 15 / отв. ред. М. Р. Вагизов. – Санкт-Петербург: СПбГЛТУ, 2023. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=54255120&pff=1>.
4. Федеральный закон от 18 марта 2019 г. № 34-ФЗ "О внесении изменений в части первую, вторую и статью 1124 части третьей Гражданского кодекса Российской Федерации"; далее – Закон № 34-ФЗ
5. Вашкевич А. М. Смарт-контракты: что, зачем и как. — М.: Симплоер, 2018 — 89 с.

Г.С. Иванов, студент  
Кафедра информационных систем и технологий  
СПбГЛТУ им. С. М. Кирова  
g5500001@yandex.ru  
А.К. Бойцов, ассистент  
Кафедра информационных систем и технологий  
СПбГЛТУ им. С. М. Кирова  
А.К.Boitsov@yandex.ru

## ИНТЕГРАЦИЯ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ И ГЕНЕТИЧЕСКИХ АЛГОРИТМОВ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ УСЛОВИЙ ВЫРАЩИВАНИЯ ПОСАДОЧНОГО МАТЕРИАЛА В ЛЕСНЫХ ПИТОМНИКАХ

### INTEGRATION OF MACHINE LEARNING AND GENETIC AL- GORITHMS TO OPTIMIZE CONDITIONS GROWING PLANTING MATERIAL IN FOREST NURSERIES

*Аннотация:* Научная статья представляет собой обзор существующих решений и проблем в автоматизации управления лесными питомниками, а также предлагает новое решение на основе использования машинного обучения и генетических алгоритмов. В статье рассматривается значимость внедрения информационных технологий в лесные питомники для оптимизации процессов выращивания и управления лесными ресурсами. Описывается применение современных технологий, таких как машинное обучение и алгоритмы оптимизации, для автоматизации контроля и управления условиями выращивания посадочного материала на примере саженцев. Предложенный подход позволяет учитывать индивидуальные потребности саженцев и обеспечивать оптимальные условия для их роста и развития. В результате применения предложенной системы автоматизации управления лесным питомником можно повысить эффективность процессов выращивания и улучшить качество лесных ресурсов.

*Abstract:* Scientific article provides an overview of existing solutions and problems in automation of forest nursery management, as well as offers a new solution based on use of machine learning and genetic algorithms. The article considers importance of introduction of information technologies into forest products to optimize the processes of cultivation and management of forest resources. The application of modern technologies, such as machine learning and optimization algorithms, for automating control and management of planting material growing conditions using the example of seedlings is described. The proposed approach makes it possible to take into account the individual needs of seedlings and provide optimal conditions

*for their growth and development. As a result of application of proposed automation system for forest nursery management, it is possible to increase efficiency of growing processes and improve the quality of forest resources.*

**Ключевые слова:** *лесные питомники, автоматизация, машинное обучение, генетический алгоритм, оптимизация, управление, саженцы, посадочный материал.*

**Keywords:** *forest nurseries, automation, machine learning, genetic algorithm, optimization, management, seedlings, planting material.*

## **Введение.**

Внедрение информационных технологий в сферу лесных питомников становится неотъемлемой составляющей эффективного управления лесными ресурсами [4, 14, 21]. В условиях нарастающей потребности в устойчивом развитии природных экосистем, использование современных ИТ-решений приобретает все большее значение [1, 7]. Лесные питомники, играя ключевую роль в лесном хозяйстве, обеспечивают необходимые ресурсы для восстановления и стабилизации лесных биосистем [15, 20]. Осуществление эффективного контроля за ростом и развитием лесных культур невозможно без систематического мониторинга и анализа точной информации. Однако в настоящее время большинство операций, таких как включение полива, проветривание, внесение удобрений, требуют ручного вмешательства операторов лесного питомника [12].

Рассмотрим существующие решения по автоматизации процессов лесных питомников в различные периоды времени - как зарубежные, так и отечественные.

На протяжении последних десятилетий в мире поднимается вопрос о внедрении автоматизации и различных информационных систем в лесную отрасль. В 2020 году специалисты из ЮАР представили исследование, в котором отметили удобство использования машинного обучения для дистанционного зондирования больших лесных территорий [23]. Это помогает в обнаружении и мониторинге вредителей и болезней. Такая система может быть использована совместно с другими системами.

В 2022 году специалистами из Польши была предложена система, которая собирала данные со специальных датчиков газа в хранилище семян и при помощи машинного обучения давала информацию об их состоянии, паразитных образованиях и прочем [22]. Обнаружение патогенов в семенах, а также мониторинг состояния позволяет выращивать здоровый и качественный материал в будущем. Также как и предыдущее исследование может быть использовано совместно с другими глобальными системами в лесных питомниках или сельском хозяйстве.

В России вопрос важности внедрения информационных систем в лесные питомники для их развития возникал с 2012 года, однако, основное внимание уделялось аспектам экономики [21]. На отечественном рынке действует множество компаний, специализирующихся в данной области. Например, отечественная компания ПроЛесКомпани предлагает оборудо-

вание по высеву семян, которое сокращает трудозатраты, минимизирует человеческий фактор, вследствие чего помогают получить более качественный посадочный материал [13]. Однако компания предлагает оборудование исключительно для посева семян, что не удовлетворяет полный спектр потребностей лесного питомника и не включает в себя системы анализа данных, на основе которых бы осуществлялось автоматическое принятие решений.

Ещё одним примером является корпорация ИМПОТЭК специализирующаяся на проектировании, производстве, монтаже и обслуживании промышленных и фермерских теплиц, а также оборудования для них. Она предлагает оборудование для крупных площадей и высадки больших объемов культур, резервуары для хранения поливочной воды, системы отопления для теплиц, авто-полив, стеллажи для хранения посевного материала и другие продукты [6]. ИМПОТЭК обеспечивает полный спектр потребностей лесных питомников, однако она ориентирована исключительно на крупные площади и объемы, что может означать ограниченную доступность услуг для клиентов с небольшими или средними площадями. Оборудование компании использует автоматизацию только в узконаправленном оборудовании, например, автоматическая высадка материала в поддоны, авто-полив больших территорий с учётом установленного тайминга или управления оператором.

В Санкт-Петербургском государственном лесотехническом университете имени С.М. Кирова также ведётся работа по применению информационных технологий для автоматизации питомников. Начиная с 2015 года, университет начал изучать возможности использования информационных технологий в процессе проектирования элементов лесных питомников [1, 14], а в 2016 году было проведено исследование по внедрению сенсорных датчиков для измерения различных параметров питомника [4]. Эти датчики позволяют получать информацию о температуре воздуха, влажности и других важных показателях удаленных лесных насаждений. Однако, на тот момент система сбора данных не включала в себя их анализ и автоматическое принятие решений.

Все вышеописанные решения не учитывают данные самостоятельно, для анализа данных и принятия окончательных решений в питомнике необходим оператор. Большую роль играет человеческий фактор, а также сравнительно малая автоматизация на сегодняшний день. В свете выявленных проблем и недостатков в автоматизации управления лесными питомниками, становится ясной необходимость в применении современных технологий в сборе и анализе данных для оптимизации управления лесным питомником.

В данном исследовании предлагается решение по автоматизации лесного питомника с использованием машинного обучения и генетических алгоритмов для обработки данных, полученных с датчиков, с целью повышения эффективности управления последними и минимизации человеческого фактора. В рамках данной темы авторами уже ведётся работа по раз-

работке собственной уникальной автоматизированной системы управления для лесных питомников [5].

### **Использование данных с датчиков для оптимизации условий выращивания посадочного материала в лесном питомнике.**

Для автоматического принятия решений необходим набор данных, на основе которого это решение может быть принято. Воспользовавшись проведёнными исследованиями специалистов в данной области [11, 19, 17, 24] и учитывая разнообразие видов семян и саженцев, а также их уникальные требования к условиям выращивания мы можем выделить важность таких основных показателей как: уровень воды в почве, влажность, температура воздуха, содержание азота и органического вещества в почве. Для принятия решений может учитываться большее количество данных с датчиков, но здесь будет рассмотрен минимальный необходимый набор параметров.

Расчет оптимального уровня воды в почве является одним из важных параметров, напрямую влияющих на качество посадочного материала. В данный момент оно рассчитывается оператором вручную с использованием формулы 1. Эта формула – изменённый вариант формулы А. Н. Костякова, советского ученого-мелиоратора [18].

$$W_{\text{оптим\_вода}} = a * T + b * I + c * H + d * N + e * O \quad (1)$$

где  $a, b, c, d, e$  - коэффициенты, подлежащие оптимизации в процессе обучения,

$T$  – температура воздуха,

$I$  – уровень освещенности,

$H$  – влажность почвы,

$N$  – уровень азота в почве.

На основе вышепредставленной формулы (1) такая модель позволяет учесть сложные взаимосвязи между различными основными необходимыми параметрами окружающей среды. В свете текущего подхода, основанного на ручном расчете оптимального уровня влажности почвы с использованием общей формулы 1, становится ясной потребность в более эффективных и точных методах оптимизации условий выращивания саженцев. Именно здесь машинное обучение, базирующееся на данных с датчиков, и начинает играть основную роль в автоматизации управления лесным питомником.

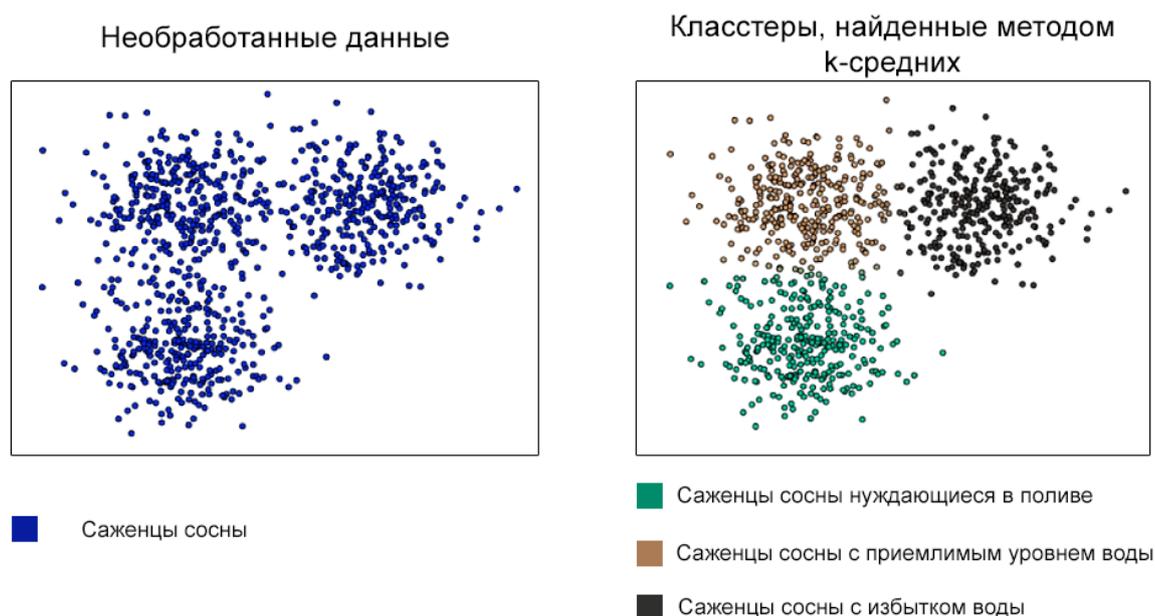
### **Машинное обучение для оптимизации условий выращивания посадочного материала.**

Автоматизированная система, основанная на данных с датчиков, может использовать алгоритмы машинного обучения для оптимизации условий выращивания для каждого вида семян и саженцев [3, 10]. Ранее была приведена формула (1), используемая в настоящее время для определения

оптимального содержания воды в почве. Её можно использовать в системе для определения уровня воды в почве для саженцев сосны или других видов. При подсчёте будет получен массив данных с оптимальными высчитанными значениями для каждой высадки посадочного материала.

Такая система будет понимать, что в разных местах высажены разные виды саженцев или сеянцев и для них необходимы разные расчёты, коэффициенты значений в формулах. Для этого необходимо учитывать их основные признаки, например, требуемая норма воды, требуемая освещённость, вид саженца [2, 9, 16]. Для подобного разбиения посадочного материала в машинном обучении применяется метод кластеризации, например, алгоритм k-средних, который разбивает посадочный материал на k кластеров, где k - заранее определенное количество кластеров. Каждый кластер объединяет, например, саженцы со схожими характеристиками и потребностями.

Алгоритм кластеризации будет стремиться минимизировать внутрикластерное расстояние и максимизировать межкластерное, что позволяет создать компактные и однородные группы сеянцев или саженцев. Приведём пример с применением метода кластеризации для саженцев сосны. Каждый саженец будет представлен как точка в многомерном пространстве этих признаков, где после кластеризации саженцев сосны у нас получится 3 больших кластера по потребности в воде: одной группе саженцев нужно больше влажности, у другой нет потребности в поливе, а у третьей избыток воды в почве (рисунок 1). Кластеров может быть значительно больше. Всё зависит от входных параметров, которые необходимо отслеживать.



**Рис.1.** – Сформированные кластеры саженцев сосны, на основе полученных с датчиков данных – влажность почвы, уровень воды в почве, вид саженца

На основе сформированных кластеров система примет решение и включит авто-полив для тех саженцев, которые нуждаются в этом, или не будет включать авто-полив какое-то время для тех, у которых избыток воды.

Такой подход к кластеризации саженцев позволяет более точно адаптировать условия выращивания в соответствии с группой схожих растений, что, в свою очередь, облегчает эффективное управление питомником и улучшает общий процесс выращивания лесных ресурсов.

### **Оптимизация параметров управления лесного питомника с использованием генетического алгоритма**

Для дальнейшей оптимизации параметров управления, таких как оптимальный уровень воды для конкретных видов семян и саженцев, вводятся алгоритмы оптимизации. Один из примеров такого алгоритма - генетический алгоритм. Генетические алгоритмы базируются на принципах естественного отбора и эволюции, имитируя механизмы биологической эволюции для достижения оптимальных результатов [8].

Для оптимизации параметров управления, в данном случае, оптимального уровня воды для саженцев сосны, мы вводим функцию потерь (2).

$$FL = \sum_{i=1}^n (a_{wi} - p_{wi})^2 \quad (2)$$

где,  $n$  – количество саженцев, для которых производится оценка уровня воды;

$a_{wi}$  - фактическое значение уровня воды в почве для  $i$ -ой высадки саженцев;

$p_{wi}$  - значение уровня воды в почве, предсказанное моделью для  $i$ -ой высадки саженцев;

FL – результат функции потерь.

Эта функция сравнивает фактическое значение уровня воды с предсказанным и выражается как сумма квадратов разностей между ними для всех саженцев в питомнике.

Генетический алгоритм стремится минимизировать функцию потерь, регулируя коэффициенты формулы оптимального уровня воды. Процесс оптимизации включает в себя создание популяции различных наборов параметров, итеративное их изменение, селекцию лучших решений и кроссинговер для создания новых вариантов. Этот процесс повторяется до достижения сходимости, когда достигаются оптимальные значения параметров.

Например, генетический алгоритм определил, что оптимальный уровень воды для саженцев сосны составляет 60-70% от полной емкости контейнера. В свою очередь функция потерь, используемая для оценки эффективности генетического алгоритма, показала, что среднее квадратичное от-

клонение между фактическим и прогнозируемым значениями уровня воды составило 5%. Это указывает на высокую точность алгоритма.

В начале процесса алгоритм создает популяцию различных наборов параметров, включающих в себя значения для уровня воды. Затем алгоритм проводит итерации, в ходе которых каждый набор параметров подвергается оценке по заданной функции потерь, которая измеряет расхождение между фактическими и прогнозируемыми значениями уровня воды.

В процессе итераций алгоритм выбирает наборы параметров, путем оценки каждого набора на основе их эффективности в достижении оптимального уровня воды для саженцев сосны, которые показывают наилучшие результаты согласно функции потерь и комбинируются оптимальные решения для создания новых вариантов. Процесс повторяется до тех пор, пока не будет достигнута сходимость, и лучшие значения параметров не будут найдены.

Система на основе посчитанных значений может регулировать и поддерживать необходимый уровень воды в почве для саженцев, включая или отключая авто-полив в нужных секторах. Это позволит обеспечить наилучшие условия для роста и здоровья саженцев, учитывая их индивидуальные потребности, и, в конечном итоге повысит эффективность лесного питомника.

### **Заключение.**

В результате проведенного исследования по автоматизации лесного питомника через использование машинного обучения и генетического алгоритма можно сделать вывод, что создание моделей, адаптированных к потребностям разных видов посадочного материала, существенно повышает эффективность процесса выращивания и управления лесными ресурсами. Машинное обучение способствует разработке уникальных моделей, подходящих для индивидуальных потребностей видов семян и саженцев, что способствует их оптимальному росту и здоровью. Алгоритмы оптимизации, основанные на принципах естественного отбора и эволюции, постоянно улучшают условия выращивания. Интеграция машинного обучения и генетического алгоритма в лесные питомники не только увеличивает производительность и экономическую эффективность, но также способствует устойчивому развитию лесных экосистем и сохранению природного баланса.

### Библиографический список

1. Бойцов, А. К. Беспроводная сенсорная сеть для мониторинга лесных территорий / А. К. Бойцов, А. А. Мокринский // Сборник научных трудов совета молодых ученых СПбГЛТУ: Сборник статей. Том Выпуск 2. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова, 2022. – С. 4-18. – EDN XBZSSD.
2. Гемонов А. В., Лебедев А. В. Особенности капельного орошения саженцев лесных и плодовых пород в условиях недостаточного увлажнения // Вклад особо охраняемых природных территорий в экологическую устойчивость регионов: Современное состояние и перспективы. – 2021. – С. 291-296.
3. Драпалюк М. В. Совершенствование технологических операций и рабочих органов машин для выращивания посадочного материала и лесовосстановления // дис. д-ра техн. наук. – 2006. – Т. 5. – №. 01.
4. Заяц А. М., Пушкарева Л. Г. Беспроводные сенсорные технологии в инфраструктуре лесных питомников // Леса России: политика, промышленность, наука, образование. – 2016. – С. 157-159.
5. Иванов, Г. С. Автоматизированная система управления лесных питомников для мониторинга физических параметров в открытом грунте / Г. С. Иванов, А. К. Бойцов // Актуальные вопросы лесного хозяйства: Материалы VII международной молодежной научно-практической конференции, Санкт-Петербург, 09–10 ноября 2023 года. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет им. С.М. Кирова, 2023. – С. 184-187. – EDN LFZMXH.
6. ИМПЮТЭК: [Электронный ресурс]. // Официальный сайт. URL: <https://improgr.ru> (Дата обращения: 17.02.2024).
7. Корчевская О. В., Батырбекова А., Исмаилов А. Основные направления использования «умных» технологий в лесной отрасли // Лесной и химический комплексы-проблемы и решения. – 2022. – С. 499-501.
8. Курейчик В. М. Генетические алгоритмы // Известия Южного федерального университета. Технические науки. – 1998. – Т. 8. – №. 2. – С. 4-7.
9. Мозолевская Е. Г. и др. Методы оценки состояния насаждений и негативной роли вредителей и болезней // Лесной вестник/Forestry bulletin. – 2013. – №. 3 (95). – С. 52-58.
10. Никитин А.А., Шадрин Д.Г., Фастовец И.А, Пукальчик М.А., Оселедец И.В. Способ автоматического подбора оптимальных параметров выращивания растений на основе методов машинного обучения. Патент РФ № 2723189 от 21.06.2019 – С. С1.
11. Нувальцева Е. П. Анализ способов дифференцированного внесения минеральных удобрений // Перспективы развития науки и образования в современных экологических условиях. – 2017. – С. 623-627.
12. Певчев В. Ю., Спиридонов К. Н., Загидуллина Л. И. Особенности технологии выращивания сеянцев сосны обыкновенной для создания ново-

- годней плантации в условиях кузоватовского лесничества //Устойчивое управление лесами – 2018. – С. 98-104.
- 13.ПроЛесКомпани: [Электронный ресурс]. // Официальный сайт. URL: <https://vysev-proles.ru>. (Дата обращения: 17.02.2024).
  - 14.Пушкарева Л. Г., Заяц А. М., Гузюк М. Е. Информационно-аналитическое Web-приложение для решения задач проектирования лесных питомников. – 2015.
  - 15.Рунова Е. М., Гринько О. И., Григорьева О. И. Глобальные проблемы лесных пожаров 2021 г. и восстановление лесов //Комплексные вопросы аграрной науки и образования. Сборник научных статей по материалам Внутривузовской научно-практической конференции, посвященной 65-летию Высшего аграрного образования Республики Саха (Якутия) и Всероссийской студенческой научно-практической конференции с международным участием в рамках" Северного форума. – 2021. – №. 2021. – С. 341.
  - 16.Саранчук А. П., Чигирь Е. С., Денисов Н. И. К проблемам модернизации лесного питомника //Велес. – 2017. – №. 1-2. – С. 63-69.
  - 17.Соколов И. А. Применение цифровых технологий и точное земледелие. Использование спутников, полевых датчиков и датчиков техники //Электрооборудование и электротехнологии в сельском хозяйстве. – 2020. – С. 128-133.
  - 18.Терпигорев А. А., Зверьков М. С. Основные методы обоснования рациональных элементов технологии поверхностного полива по бороздам //Экология и строительство. – 2017. – №. 2. – С. 25-30.
  - 19.Тихова Г. П. и др. Новый гибридный метод для измерения транспирационных потоков влаги у деревьев //Сибирский лесной журнал. – 2017. – №. 4. – С. 78-90.
  - 20.Чернышова Л. В., Канагина И. Р., Макарова Т. Н. Восстановление лесных культур //Роль аграрной науки в устойчивом развитии сельских территорий. – 2020. – С. 190-194.
  - 21.Ястребинская Г. А. Роль информационных технологий в маркетинге питомниковых растений //Никоновские чтения. – 2012. – №. 17. – С. 145-147.
  - 22.Borowik P. Et al. Application of a Low-Cost Electronic Nose to Detect of Forest Tree Pathogens: *Fusarium oxysporum* and *Phytophthora plurivora* //IEEE Access. – 2022. – Т. 10. – С. 93475-93487.
  - 23.Poona N. K. A remote sensing-machine learning framework for modelling forest health: дис. – Stellenbosch: Stellenbosch University, 2020.
  - 24.Shashko A. Y. et al. Modern phenotyping platforms and their application in plant biology and agriculture //Experimental Biology and Biotechnology. – 2020. – №. 2. – С. 15-25.

**А.С. Корнев**, начальник отдела систем  
автоматического управления движением  
АО «Ситроникс КТ»

Alexey.Korenev@sitronics-kt.ru

**А.С. Хабаров**, кандидат технических наук, доцент  
Кафедра информационных систем и технологий

СПб ГЛТУ им. С.М. Кирова  
serg.habarov@mail.ru

## **ОЦЕНКА МАССЫ ПЕРЕВОЗИМОГО ГРУЗА НА ОСНОВЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ДВИЖЕНИЯ СУДНА**

### **ESTIMATION OF THE MASS OF TRANSPORTED CARGO BASED ON A MATHEMATICAL MODEL OF VESSEL MOVEMENT**

***Аннотация:** Представлен алгоритм оценки массы судна или массы состава буксир с баржами. В основе алгоритма лежит математическая модель движения судна, которая позволяет идентифицировать силы, создаваемые движительно-рулевым комплексом (ДРК), и на основе полученных данных о силах, создаваемых ДРК, и ускорения судна/состава провести оценку массы. Данный алгоритм не требует выполнения сложных маневров, обладает неплохой точностью и не восприимчив к установившимся внешним возмущениям, что позволяет его использовать во время движения судна по основному маршруту. По этой причине алгоритм оценки массы может быть использован для контроля за перевозкой грузов.*

***Annotation:** An algorithm for estimating the mass of a vessel or the mass of a tug with barges is presented. The algorithm is based on a mathematical model of the vessel's motion, which allows you to identify the forces created by the propulsion and steering complex, and based on the data obtained on the forces created by the propulsion and the acceleration of the vessel/composition, to assess the mass. This algorithm does not require complex maneuvers, has good accuracy and is immune to established external disturbances, which allows it to be used during the movement of the vessel along the main route. For this reason, the weight estimation algorithm can be used to control the transportation of goods.*

***Ключевые слова:** автоматическое управление, фильтр Калмана, идентификация, перевозка грузов, автономное судовождение.*

***Keywords:** Kalman filter, identification, cargo transportation, autonomous navigation.*

## **Введение**

В рамках работ по безэкипажному судовождению на реке, проводимой компанией «Ситроникс КТ» [1-3], для обеспечения более высокой точности движения в ограниченных условиях реки с учетом внешних возмущений (течение, ветер), изменение массы и размеров объекта (буксир с грузенной/пустой баржей(ми)), потребовалась доработка математических моделей движения судна и алгоритмов идентификации параметров математических моделей, которые используются в системе координированного управления (СКУ) [4]. Одна из задач, для которых разрабатывались алгоритмы идентификации, является автоматическая оценка массы состава буксир-толкач совместно с баржей(ми) (далее состав). Решение задачи идентификации массы состава принципиально важно для СКУ, осуществляющей управление движением состава, так как значение массы состава используется при расчете сил, создаваемых исполнительными механизмами (винт в поворотной насадке, винт+руль) [5, 6]. Основную массу баржи может составлять груз, при этом масса порожней баржи известна. Тогда можно сказать, что во время движения состава по руслу реки, СКУ для обеспечения управления движением состава периодически проводит косвенную оценку (идентификацию) массы груза.

В России по внутренним водным путям, протяженность которых составляет более 101 тыс. км [7], ежегодно перевозится более 100 млн. тон грузов [8], из них доля лесных грузов составляет более 5%, а доля строительных материалов превышает 51% [7]. На такой протяженности водных путей обеспечение достаточного контроля за перевозкой больших объемов грузов является сложной задачей, по этой причине нельзя исключить при перевозке потерю части груза путем хищения. Использование математической модели движения судна/состава с алгоритмами идентификации можно рассматривать как один из вариантов контроля сохранности перевозки груза на всем протяжении пути, с возможностью получения данных о массе перевозимого груза судовладельцем в любой момент времени.

В этом случае, для оценки возможности контроля груза, интересны внешние условия окружающей среды, при которых возможна идентификация массы груза, а также точность, с которой возможна данная косвенная оценка перевозимого груза. В данной статье приводится обзорное описание алгоритма идентификации массы состава, а также описываются внешние условия, при которых возможна идентификация массы груза.

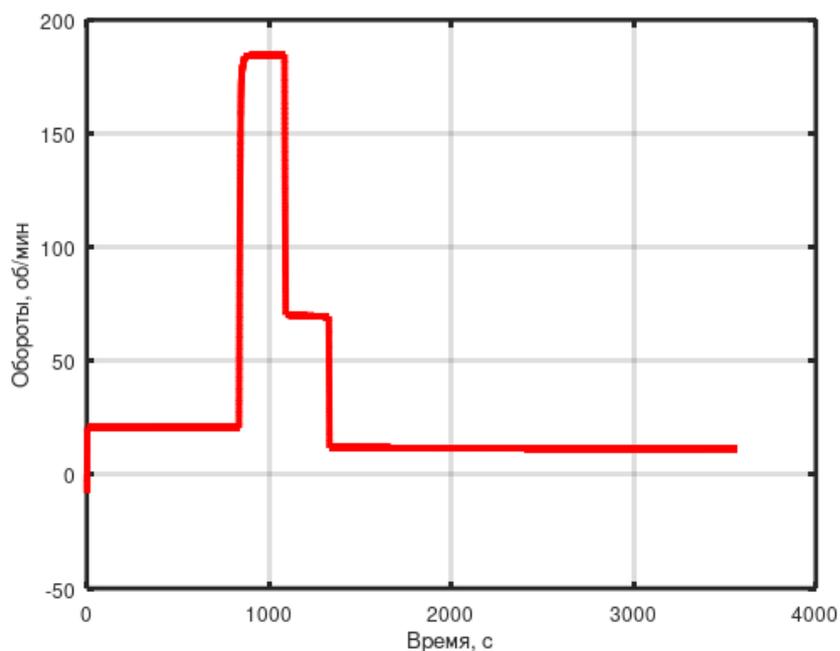
## **Алгоритм идентификации массы состава**

Оценить массу состава можно, используя данные, полученные алгоритмами идентификации сил, создаваемых движительно-рулевым комплексом (ДРК) буксира. Идентификация сил, создаваемых ДРК буксира, является сложной задачей, которая решается с использованием расширенного (нелинейного) фильтра Калмана, включающего в свой состав гидродинамическую модель судна и модели исполнительных механизмов ДРК.

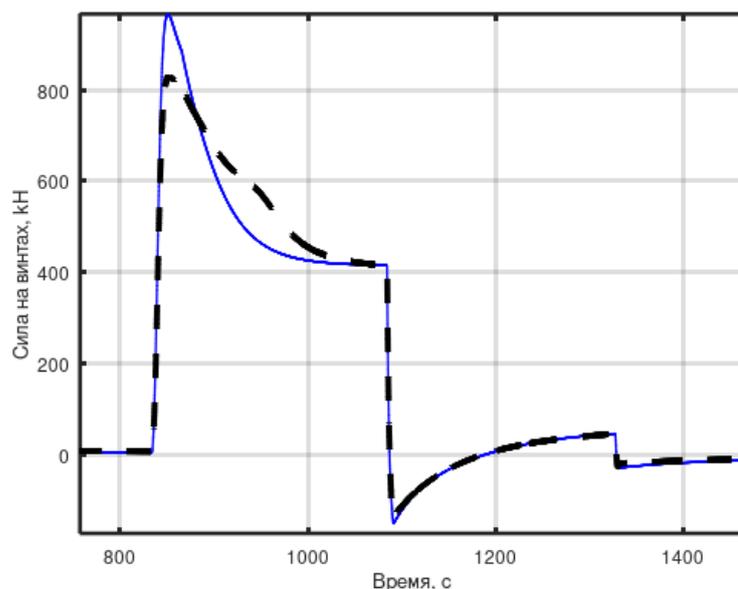
В рамках этой статьи алгоритм идентификации сил, создаваемых движительно-рулевым комплексом, не рассматривается.

На рисунках 1 и 2 представлены графики оборотов и сил, создаваемых винтами фиксированного шага (ВФШ), при выполнении маневра разгона-торможения судна. Для отладки алгоритмов идентификации в качестве судна использовалась 6-ти степенная нелинейная модель, разработанная в среде «Breeze Desk» [9] и предназначенная для обучения судоводителей.

В маневре разгона-торможения, сначала модель судна разгонялось до установившейся скорости хода 13 узлов (продольное ускорение  $\sim 0$ ), при оборотах ВФШ 185 об/мин, далее обороты ВФШ уменьшали до 70 об/мин, что приводило к торможению модели судна с последующей установившейся скоростью хода 5,4 узла. Результаты моделирования показали, что алгоритм идентификации сил ДРК достаточно точно (разница между силами менее 1 %) определяет силу, создаваемую винтом ВФШ в режиме торможения винтом, данный маневр торможения и нужно использовать для оценки массы состава.



**Рис.1.** График изменения оборотов ВФШ



**Рис.2.** Силы ДРК модели (сплошная) и силы ДРК, полученные алгоритмами идентификации (пунктирная)

Для возможности проводить оценку массы состава предварительно необходимо провести идентификацию сил, создаваемых ВФШ, одиночного буксира известной массы (водоизмещения). И кроме этого получить зависимость изменения силы на винте от оборотов и скорости натекающего потока воды в виде функции  $F(n, v)$ . Тогда разница сил  $\Delta F$  в режиме торможения винтом для установившихся режимов скоростей будет определяться силой на ВФШ.

$$\Delta F = F(n_1, v_1) - F(n_2, v_2) \quad (1)$$

Где,  $n_{1,2}$  – обороты ВФШ ( $n_1 > n_2$ );

$v_{1,2}$  – скорость натекающего потока на ВФШ ( $v_1 > v_2$ ).

Тогда для оценки массы состава движущегося по руслу реки можно использовать второй закон Ньютона, из которого выразить массу баржи:

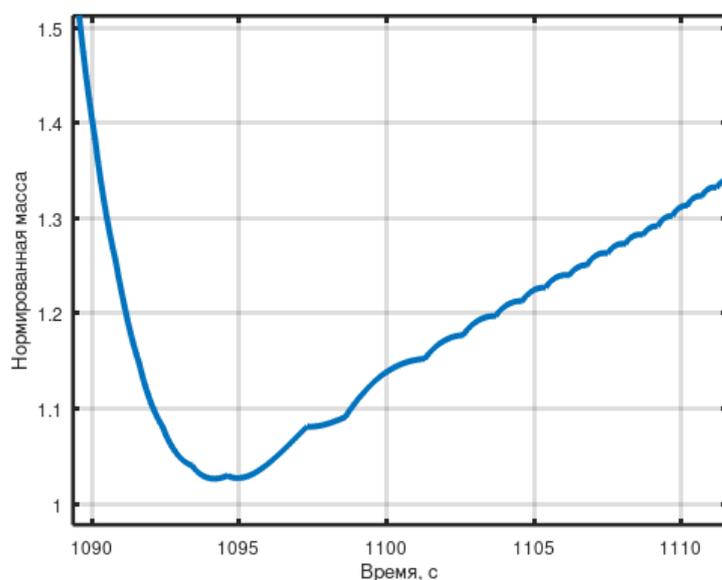
$$m_{бр} = \frac{\Delta F}{a} - m_б. \quad (2)$$

Где,  $m_б$  – водоизмещение буксира;

$m_{бр}$  – водоизмещение баржи;

$a$  – продольное ускорение состава, может быть измерено с помощью акселерометра или восстановлено с помощью адаптивного фильтра Калмана [10, 11] по измерениям скорости от лага.

На рисунке 3 представлена оценка массы модели судна с использованием идентификации силы на винте и восстановленного ускорения с использованием адаптивного фильтра Калмана [10, 11] по значениям скорости от лага.



**Рис.3.** Оценка нормированной массы судна

Для лучшего восприятия точности работы алгоритма, оценка массы судна пронормирована относительно массы судна с присоединёнными массами воды. На графике видно, что во время маневра торможения мы получаем минимум функции, который будет соответствовать оценке массе судна.

### **Заключение**

Предложенный алгоритм требует предварительной фильтрации навигационных данных от шумов измерений, что приводит к временной задержке, и как следствие, снижению точности алгоритма. Даже в этом случае, алгоритм обладает достаточно неплохой относительной точностью около 3-5%. Также данный алгоритм может быть использован для идентификации при волнении, но в этом случае для оценки ускорения необходимо использовать фильтр Калмана с моделью волнения [12].

Представленный алгоритм можно использовать для оценки массы, как судна, так и состава (буксир+баржа).

### **Библиографический список**

1. Первые беспилотные пассажирские суда могут появиться в России в 2024 году. – 19.09.2023. – Текст. Изображение: электронные // ТАСС: [сайт]. – URL: <https://tass.ru/ekonomika/18781457> (Дата обращения: 12.01.2024 г.) – Режим доступа: раздел «Экономика и бизнес».
2. Sitronics Group успешно испытала автономное речное судно. – 13.11.2023. – Текст. Изображение: электронные // ТАСС: [сайт]. – URL: <https://tass.ru/ekonomika/19267137> (Дата обращения: 12.01.2024 г.) – Режим доступа: раздел «Экономика и бизнес».
3. «Газпромнефть - Снабжение» протестировало дистанционное управление судами – 14.12.2022. - Текст. Изображение: электронные // РИА-ТОМСК: [сайт]–URL: <https://www.riatomsk.ru/article/20221214/gazpromneftj-snabzhenie->

- distancionnoe-upravlenie-sudami/?ysclid=lqqem46sx2889827431 (Дата обращения: 12.01.2024 г.) – Режим доступа: раздел «Новости».
4. Патент № 2741669 С1 Российская Федерация, МПК В63Н 25/04, G05D 1/00, G08G 3/00. Система координированного управления движением судна в режимах автоматического и дистанционного управления: № 2020127639: заявл. 18.08.2020 : опубл. 28.01.2021 / А. С. Коренев, А. Г. Шпекторов, С. П. Хабаров, В. С. Соловей ; заявитель Акционерное общество "Кронштадт Технологии". – EDN CAEYGS.
  5. Johansen Tor A., Fuglseth Thomas P., Tondel P., Fossen Thor I. Optimal constrained control allocation in marine surface vessels with rudders//Control Engineering Practice. 2008. Vol. 16. P. 457-464.
  6. Амбросовский, В. М. Алгоритмы управления в задачах позиционирования динамических объектов / В. М. Амбросовский, А. С. Коренев // XII всероссийское совещание по проблемам управления ВСПУ-2014, Москва, 16–19 июля 2014 года / Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН. – Москва: Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, 2014. – С. 3523-3533. – EDN SSIUAZ.
  7. Шаповал И.Н. Транспорт в России. 2022: Стат.сб./И.Н. Шаповал, И.В. Акимова, К.А. Алексеев и др. /Росстат. – М., 2022-101 с.
  8. Транспорт. Перевозки грузов. – Текст. Изображение: электронные // Федеральная служба государственной статистики: [сайт]. – URL: <https://rosstat.gov.ru/statistics/transport> (Дата обращения: 12.01.2024 г.) – Режим доступа: сайт «Федеральная служба государственной статистики», раздел «Статистика», подраздел «Официальная статистика», подраздел «Транспорт», подраздел «Перевозки грузов».
  9. Графическая среда разработки динамических моделей судов «Breeze Desk» – Текст. Изображение: электронные // Реестр программного обеспечения: [сайт]. – URL: <https://reestr.digital.gov.ru/reestr/2011474/> (Дата обращения: 14.01.2024 г.) – Режим доступа: сайт «Реестр программного обеспечения», раздел «Реестр ПО», подраздел «Графическая среда разработки динамических моделей судов «Breeze Desk».
  10. Амбросовский, В. М. Адаптивный фильтр Калмана к внешним возмущениям / В. М. Амбросовский, С. П. Хабаров, А. С. Коренев // Информационные системы и технологии: теория и практика : Сборник научных трудов, Санкт-Петербург, 29 января 2015 года / отв. редактор А. М. Заяц. Том Выпуск 7. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет им. С.М. Кирова, 2015. – С. 5-10. – EDN VKJVOJ.
  11. Амбросовский, В. М. Отказоустойчивый адаптивный к внешним возмущениям фильтр Калмана / В. М. Амбросовский, А. С. Коренев, С. П. Хабаров // Морская радиоэлектроника. – 2015. – № 3(53). – С. 20-23. – EDN UYCGWF.
  12. Коренев, А. С. Фильтрация волновых возмущений, действующих на объект управления / А. С. Коренев, С. П. Хабаров // Информационные системы и технологии: теория и практика: Сборник научных трудов/

Отв. редактор М.Р. Вагизов. Том Выпуск 15. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова, 2023. – С. 91-97. – EDN RMEWDF.

**А.А. Костерева**, аспирантка  
Кафедра Информационных систем и технологий  
СПбГЛТУ им. С.М. Кирова  
kosterevanasta@gmail.com  
**М.Р. Вагизов**, кандидат технических наук, доцент  
Кафедра информационных систем и технологий  
СПб ГЛТУ им. С.М. Кирова  
bars-tatarin@yandex.ru

## **ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ СТЕПЕНИ СОХРАННОСТИ ОБЪЕКТОВ КУЛЬТУРНОГО НАСЛЕДИЯ ЛАНДШАФТНОЙ АРХИТЕКТУРЫ НА ВОЗМОЖНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ГЕОИНФОРМАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ**

### **ASSESSMENT OF THE IMPACT OF THE DEGREE OF PRESERVATION OF CULTURAL HERITAGE OBJECTS OF LAND- SCAPE ARCHITECTURE ON THE POSSIBILITY OF APPLYING GEOINFORMATION MODELING**

***Аннотация:** В статье рассматривается влияние степени сохранности объектов культурного наследия ландшафтной архитектуры (ОКН ЛА) на возможность их геоинформационного моделирования. Обсуждаются основные компоненты геоинформационной модели, такие как пространственные данные, атрибутивная информация и методы анализа. Кроме того, описываются специфические аспекты моделирования объектов ландшафтной архитектуры.*

***Abstract:** The article discusses the influence of the degree of preservation of objects of cultural heritage of landscape architecture (OKN LA) on the possibility of their geoinformation modeling. The main components of the geoinformation model, such as spatial data, attribute information and analysis methods, are discussed. In addition, specific aspects of modeling landscape architecture objects are described.*

***Ключевые слова:** геоинформационное моделирование, объекты культурного наследия, ландшафтная архитектура, степень сохранности, пространственные данные, атрибутивная информация, анализ, природные факторы, антропогенные факторы.*

**Keywords:** *geoinformation modeling, cultural heritage objects, landscape architecture, degree of preservation, spatial data, attributive information, analysis, natural factors, anthropogenic factors.*

## **Введение**

Актуальность темы исследования обусловлена тем, что объекты культурного наследия, являясь неотъемлемой частью истории и культуры, неизбежно меняют свой облик, развиваясь и принимая новые изменения в рамках приспособления к современному использованию или вовсе теряют идентичность постепенно разрушаясь. При работах по реставрации ОКН возникают противоречия относительно того, как следует подходить к их сохранению. С одной стороны, необходимо сохранить объект в современном состоянии от ОКН, чтобы сохранить его идентичность. С другой стороны, необходимо восстановить утраченные элементы, чтобы ОКН транслировали свою эпоху расцвета и оставались доступными для восприятия и понимания. Также возникает вопрос о том, как показать ушедшие эпохи, не повреждая последующие наслоения.

Геоинформационные технологии предоставляют возможность для создания моделей, отражающих текущее состояние объектов культурного наследия (ОКН), их исторические формы, а также позволяют осуществлять прогнозирование их развития.

Однако степень сохранности ОКН может оказывать значительное влияние на возможность их моделирования с помощью ГИС. Сохранность ОКН зависит от множества факторов, таких как возраст, материал, условия эксплуатации, наличие реставрационных работ и т.п. В зависимости от степени сохранности, ОКН могут иметь различные характеристики, которые необходимо учитывать при моделировании.

Целью данной работы является исследование влияния степени сохранности ОКН на возможность их геоинформационного моделирования. Для достижения этой цели будут рассмотрены следующие вопросы:

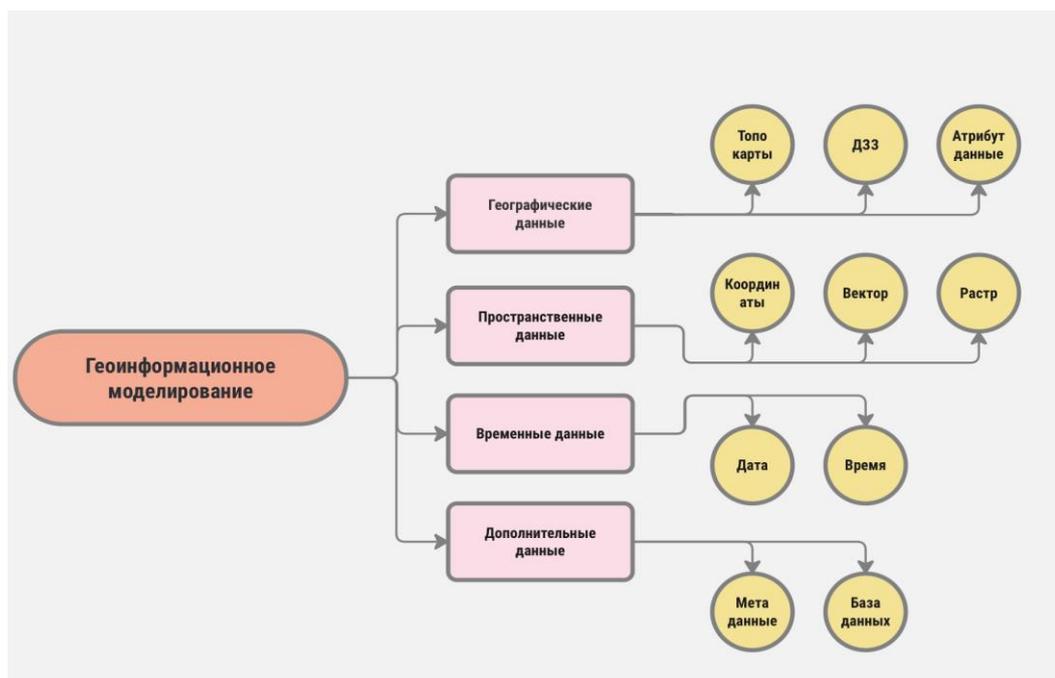
1. Как выглядит структура геоинформационного моделирования
2. В чем особенность моделирования ландшафтных объектов
3. Какие факторы влияют на степень сохранности ОКН
4. Как степень внедряется в общую структуру геоинформационного моделирования

## **Основная часть**

Глобально, для создания геоинформационной модели необходим ряд данных, характеризующих положение объекта. пространстве и времени, а также дающих представление о том, как объект развивается с течением времени.[1] Это могут быть географические данные (геоданные), описывающие свойства объектов, а также явления и процессы, происходящие на земной поверхности объекта моделирования или в недрах земли. Например, топографические карты для определения границ

и характеристик местности, данные дистанционного зондирования (ДЗЗ), такие как спутниковые снимки, для получения актуальной информации о поверхности Земли и атрибутивные данные, описывающие характеристики объектов на карте, например, тип растительности, тип почвы, высота зданий и т.д. Кроме того, необходимы пространственные данные, дающие описание объекта с достаточным количеством информации для привязки моделируемого объекта к системе координат, такие как координаты объектов для их точного позиционирования на карте, векторные данные, представляющие собой геометрические фигуры (точки, линии, полигоны), описывающие границы объектов и растровые данные, представляющие собой изображения, состоящие из пикселей, каждый из которых имеет определенное значение [2].

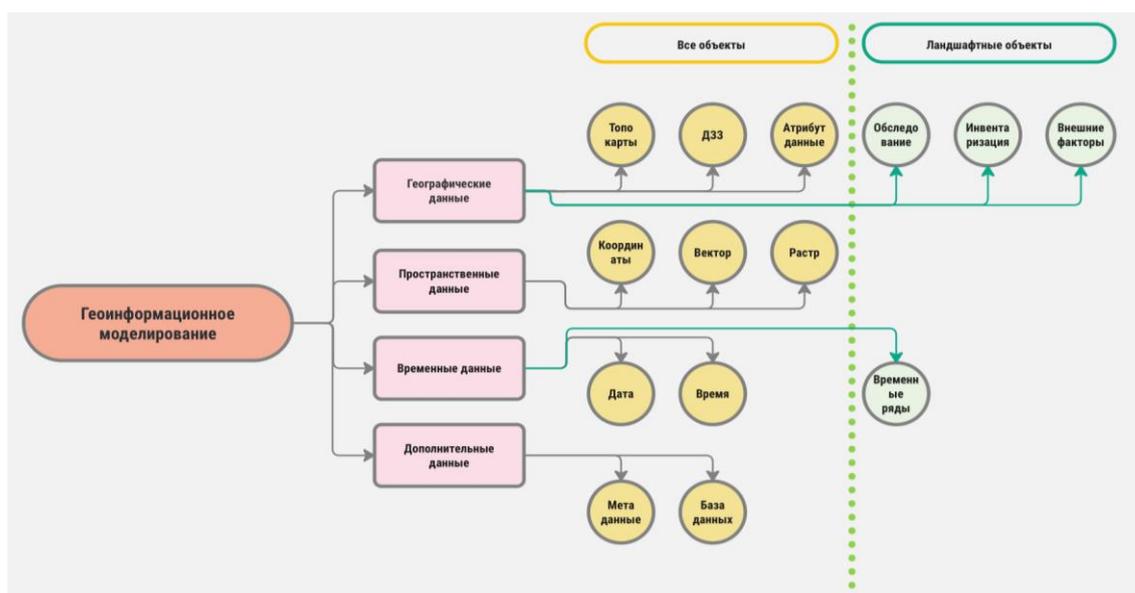
Также немаловажны временные данные, так как информация о дате и времени сбора данных необходима для отслеживания изменений во времени, и дополнительные данные, такие как метаданные, описывающие происхождение, качество и методы обработки данных и базы данных для хранения и управления информацией. Обобщенная блок-схема структуры геоинформационной модели показана на рисунке 1.



**Рис. 1.** Обобщённая схема структуры геоинформационной модели

При этом, для геоинформационного моделирования парковых территорий, помимо топографических карт и аэро- и космоснимков, кроме того, необходимы данные о полевых съемках и обследовании объекта, для понимания состояния дорожно-тропиночной сети и малых архитектурных форм [3]. Одной из главных частей при моделировании парковой структуры являются насаждения и для поднимания их конфигурации необходима инвентаризация зеленых насаждений, которая позволяет получить информацию о видовом составе, состоянии и характеристиках

габитуса [4]. Для прогнозирования развития парковой территории с помощью геоинформационного моделирования необходимы не просто временные данные в виде даты и времени сбора информации, а временные ряды, представляющие собой упорядоченные во времени наборы изменений каких-либо характеристик исследуемого объекта или процесса. А для учета влияния внешних факторов на парковую структуру, необходимо учитывать данные, например о загрязнении окружающей среды близлежащими производствами или магистралями. Блок - схема, отражающая структуру геоинформационной модели с учетом особенностей ландшафтного объекта, показана на рисунке 2.



**Рис. 2.** Структура геоинформационной модели с учетом особенностей ландшафтного объекта.

При работе с объектами культурного наследия необходимо учитывать, что на возможность моделирования влияет степень сохранности объекта культурного наследия. В Национальном стандарте Российской Федерации по сохранению ОКН выделяется пять категорий состояний объектов культурного наследия, которые определяются его техническим состоянием (табл. 1). Первая категория - исправное состояние. Характеризуется отсутствием дефектов и повреждений, влияющих на снижение несущей способности и эксплуатационной пригодности. Вторая категория - работоспособное. Некоторые из численно оцениваемых контролируемых параметров не отвечают требованиям проекта, норм и стандартов, но имеющиеся нарушения не приводят к нарушению работоспособности. Третья категория - ограниченно работоспособное. Имеются дефекты и повреждения, приведшие к снижению несущей способности, но отсутствует опасность внезапного разрушения. Четвертая категория - неудовлетворительное. Характеризуется снижением несущей способности и эксплуатационных характеристик, при котором существует опасность для пребывания людей и сохранности оборудования. Пятая категория - аварийное.

Характеризуется повреждениями и деформациями, свидетельствующими об исчерпании несущей способности и опасности обрушения. [5]

Таблица 1.

**Категории степени сохранности ОКН**

				
1 категория	2 категория	3 категория	4 категория	5 категория

В данном документе критерии оценки состояния основываются исключительно на прочности здания и опираются на данные о состоянии его конструктивных элементов и инженерного оборудования. В то время как для моделирования крайне важно иметь представление не только о конструкции, но и о визуальной составляющей декоративных элементов, а в случае ландшафтных объектов - элементов наполнения. Тем не менее, систему, предложенную в Национальном стандарте Российской Федерации по сохранению ОКН можно взять за основу и дополнить критериями оценки состояния всех составляющих ОКН ЛА, чтобы получить критерии оценки степени сохранности всего ОКН ЛА. т.е., применительно к объектам ландшафтной архитектуры, такая система оценивания будет выглядеть как поэтапная оценка объемно - пространственной композиции, насаждений, дорожно - тропинойной сети, архитектурных сооружений, МАФ и инженерных сооружений.

В целом, если общее состояние объекта оценивается первыми тремя категориями, то ГИС-моделирование может точно отобразить его форму, размеры и местоположение. Это позволяет использовать моделирование для прогнозирования изменений в объекте и принятия решений о его сохранении. Если же состояние неудовлетворительное или аварийное, это означает, что объект сильно поврежден и его моделирование может быть затруднено или невозможно. В таком случае, при моделировании таких объектов могут помочь научные изыскания по поиску данных о похожих объектах, созданных в тех же временных рамках или о других работах автора.

Таким образом, степень сохранности объекта культурного наследия определяет, насколько точно и полно ГИС может моделировать его. Однако, для геоинформационного моделирования важна не столько физическая сохранность, сколько наличие необходимой документации, позволяющей виртуально реконструировать объект культурного наследия, даже если он полностью утрачен. Если объект культурного наследия имеет полную документацию, включая точные координаты, фотографии, исторические сведения и т.д., это позволит при помощи геоинформационного моделирования создать утраченный объект или одну

из его стадий развития. Если же документация не полная, или ее нет вовсе, то моделирование становится возможным также по аналогам, что не может считаться достоверным. Возможность моделирования в зависимости от степени сохранности и наличия документации представлена в таблице 2.

Таблица 2.

**Возможность моделирования объекта ОКН ЛА в зависимости от степени сохранности и наличия документации по объекту.**

	Полный пакет документов	Неполный пакет документов	Нет документов
Исправное состояние	Возможно полноценное моделирование современного состояния, прошедших этапов и последующее прогнозирование	Возможно моделирование современного состояния, частичное моделирование прошедших этапов и прогнозирование затруднено	Возможно моделирование современного состояния, невозможно моделирование прошедших этапов, прогнозирование затруднено
Работоспособное, ограниченно работоспособное	Возможно частичное моделирование современного состояния, моделирование прошедших этапов и последующее прогнозирование	Возможно частичное моделирование современного состояния, частичное моделирование прошедших этапов и прогнозирование затруднено	Возможно частичное моделирование современного состояния, невозможно моделирование прошедших этапов, прогнозирование затруднено
Неудовлетворительное, аварийное	Возможно приблизительное моделирование современного состояния, моделирование прошедших этапов и последующее прогнозирование	Возможно приблизительное моделирование современного состояния, частичное моделирование прошедших этапов и прогнозирование затруднено	Возможно приблизительное моделирование современного состояния, невозможно моделирование прошедших этапов, прогнозирование затруднено

**Вывод**

Представленная в таблице 2 информация влияет на пункты географических данных, пространственных данных и временных данных в структуре создания геоинформационной модели (Рисунок 2) как при моделировании текущего состояния объекта, так и при моделировании ныне утраченных состояний объекта культурного наследия ландшафтной архитектуры. Таким образом, степень сохранности объектов культурного наследия (ОКН) напрямую влияет на возможность и эффективность применения геоинформационных

технологий для их моделирования. Чем выше степень сохранности ОКН, тем более точные и детализированные модели могут быть созданы, что, в свою очередь, способствует более глубокому пониманию исторического контекста и текущего состояния объекта. Однако даже при низкой степени сохранности, геоинформационное моделирование остается возможным в связи с наличием документации, подтверждающей местоположение объекта, габариты, внешний вид, структуру и т.п. соответственно, наиболее полный пакет документов позволяет наиболее точно смоделировать все этапы существования объекта культурного наследия, позволяя анализировать и визуализировать данные о состоянии ОКН, планировать реставрационные работы и мероприятия по сохранению.

### **Библиографический список**

1. Грузинов В. С. Системные основы геоинформационного моделирования территорий // Интерэкспо Гео-Сибирь. 2008. №2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sistemnye-osnovy-geoinformatsionnogo-modelirovaniya-territoriy> (дата обращения: 01.05.2024).
2. Андреева О. А. Разработка методики геоинформационного моделирования объектов инфраструктуры железнодорожного транспорта URL: <https://www.miigaik.ru/upload/iblock/015/0150935bae8ce228695ff2c8d86ec836.pdf> (дата обращения: 01.05.2024).
3. Ольхин Ю.В., Кабонен А.В. Разработка геоинформационной системы объекта ландшафтной архитектуры на примере парка Ямка города Петрозаводска // Экосистемы. 2016. №6 (36). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/razrabotka-geoinformatsionnoy-sistemy-obekta-landshaftnoy-arhitektury-na-primere-parka-yamka-goroda-petrozavodska> (дата обращения: 29.04.2024).
4. Комарова А.Д. Геоинформационные системы в управлении особо охраняемыми природными территориями // Материалы XIV Международной студенческой научной конференции «Студенческий научный форум» URL: <https://scienceforum.ru/2022/article/2018031112> (дата обращения: 24.04.2024).
5. ГОСТ Р 56891.2-2016 Сохранение объектов культурного наследия. Термины и определения. Часть 2. Памятники истории и культуры (Переиздание) // Официальное издание. М.: Стандартинформ, 2019 год URL: [https://www.mos.ru/upload/documents/oiv/natsionalnyy\\_standart\\_rossiyskoy\\_federatsii\\_gost\\_r\\_568912\\_2016.pdf](https://www.mos.ru/upload/documents/oiv/natsionalnyy_standart_rossiyskoy_federatsii_gost_r_568912_2016.pdf) (дата обращения: 24.04.2024).

**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

## **ИЗМЕНЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ АДАПТАЦИИ ПРИ ПРИЕМЕ ИНФОРМАЦИИ В СИСТЕМАХ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ**

### **CHANGE OF ADAPTATION PARAMETERS DURING INFORMATION RECEPTION IN DATA TRANSMISSION SYSTEMS**

***Аннотация:** В статье предложен метод повышения оперативности изменения параметров адаптации при приеме информации в системах передачи данных. Известно достаточно большое количество методов, позволяющих повысить оперативность смены параметров адаптации при приеме информации, однако они имеют ряд недостатков. Предлагаемый метод основан на том, что при работе в направлении радиосвязи предварительно задают множество установленных для связи частот, выделенных для работы радиосредств, диаграммы направленности передающих и приемных антенн и возможности по их изменению, возможности радиосредств по изменению скорости передачи информации, а также множество градаций величин мощности. Вследствие этого повышается оперативность смены параметров, достоверность передаваемой дискретной информации и снижается время простоя в системах передачи данных.*

***Abstract:** The paper proposes a method to improve the efficiency of changing adaptation parameters when receiving information in data transmission systems. A sufficiently large number of methods are known to increase the efficiency of changing adaptation parameters when receiving information, but they have a number of disadvantages. The proposed method is based on the fact that when working in the direction of radio communication pre-determine a set of frequencies set for communication, allocated for the work of radio means, the directional patterns of transmitting and receiving antennas and the possibility of changing them, the possibility of radio means to change the rate of transmission of information, as well as many gradations of power values. As a consequence, the efficiency of parameter changes, the reliability of the transmitted discrete information and the downtime in data transmission systems are increased.*

**Ключевые слова:** прием информации, помехоустойчивость, достоверность, адаптация, вероятность ошибки.

**Key words:** information reception, noise immunity, reliability, adaptation, error probability.

## **Введение.**

С целью повышения достоверности приема информации в системах передачи данных по оценкам качества приема и в зависимости от помеховой обстановки в каналах связи могут перестраиваться следующие параметры: несущая частота, мощность излучения, скорость передачи информационных символов, вид модуляции, способ кодирования и другие.

Вопросам повышения достоверности приема информации в системах передачи данных посвящены следующие работы [1], однако они имеют ряд недостатков и при этом мало исследован вопрос повышения оперативности смены параметров адаптации при приеме информации. Наиболее существенными из них являются большие энергетические затраты на передачу дискретной информации по каналам связи и значительные временные интервалы простоя, что снижает достоверность передаваемой информации. Предлагается новый метод смены параметров адаптации, учитывающий вышеперечисленные недостатки.

## **Постановка задачи.**

Оперативность смены параметров адаптации при приеме информации достигается тем, что от передающей стороны поступает дискретная информация, а на приемной стороне по данной информации принимают решение о многопараметрическом адаптивном управлении процессом связи.

В известных способах в качестве параметров адаптации из всего их множества выбираются только самые значимые, а именно: частота, на которой осуществляется обмен информацией; скорость передачи и мощность излучения радиопередающих устройств. Не учтены возможности по изменению диаграмм направленности передающих и приемных антенн, позволяющих повысить отношение  $P_{\text{сигнала}}/P_{\text{помехи}}$  на входе приемника.

## **Решение многопараметрической адаптации.**

Перед началом работы в направлении радиосвязи предварительно задают множество установленных для связи частот, выделенных для работы радиосредств, диаграммы направленности передающих и приемных антенн и возможности по их изменению (множество состояний диаграмм направленности передающих и приемных антенн), возможности радиосредств по изменению скорости передачи информации (множество скоростей передачи информации), а также множество градаций величин мощности. Для оценки качества канала и достоверности связи дополнительно задают пороговое значение вероятности ошибки (коэффициента ошибок) в канале связи и необходимое время исправной работы канала радиосвязи.

После задания исходных данных с помощью пеленгационной антенны и пеленгационного приемника определяют направление и угол места прихода помехи для заданного множества частот в точке приема каждого корреспондента. В соответствии с определенными параметрами выбирают из всего множества состояний диаграмм направленности то значение, которое позволяет сформировать «провал» диаграммы направленности по направлению и углу места прихода помехи, и изменяют диаграмму направленности приемной антенны в соответствии с выбранным значением из множества  $\{Q\}$ . Использование этих данных позволяет сформировать в точке приема нули диаграмм направленности приемных антенн в отношении наиболее мощных источников помех. Эти действия осуществляют для каждого корреспондента.

Далее с помощью измерительных антенн измеряют уровень помех на заданных частотах и с помощью программных средств по полученным уровням помех на заданном множестве  $\{F\}$  вычисляют отношение сигнал/помеха в точке приема для заданных значений из множеств  $\{B\}$  и  $\{P\}$  и соответствующее рассчитанное значение вероятности ошибки.

Вероятность ошибки в каналах с замираниями и аддитивной помехой в виде нормального шума при некогерентном приеме [2]:

1) для случая быстрых замираний вероятность ошибки одинарного приема элемента двоичных сигналов с активной паузой равна:

$$p_{\text{ош}} = \frac{1}{h_0^2 + 2}, \quad (1)$$

где  $h_0^2$  – величина отношения сигнала к помехе;

2) для случая быстрых замираний при ближнем распространении:

$$p_{\text{ош}} = \frac{k^2 + 1}{h_0^2 + 2k^2 + 2} \exp\left(-\frac{kh_0^2}{h_0^2 + 2k^2 + 2}\right), \quad (2)$$

где  $k^2 = \frac{U_0^2}{U_{\text{с.д.}}^2} = 5$ ,

$U_0^2$  – амплитуда регулярной составляющей сигнала,

$U_{\text{с.д.}}^2$  – значение, флуктуирующее составляющего сигнала;

3) при сдвоенном приеме и квадратичном сложении на разнесенные антенны в канале с быстрыми замираниями вероятность ошибки равна:

$$p_{\text{ош}} = \frac{3h_0^2 + 4}{(h_0^2 + 2)^3}. \quad (3)$$

Соответственно, зная уровень сигнала корреспондента (мощность его излучения), используя основное уравнение радиосвязи, можно определить величину отношения сигнала к помехе ( $h_0^2$ ) и, подставив значение в представленные выше формулы, получить значение вероятности ошибки для соответствующего значения частоты из множества  $\{F\}$ . По полученным расчетным значениям вероятности ошибки выстраивается вариационный ряд:  $P_{\text{ош}1} \leq P_{\text{ош}2} \leq P_{\text{ош}3} \leq \dots \leq P_{\text{ош}i}$ , где самый левый член вариационного ряда соответствует минимальной вероятности ошибки на соответ-

ствующей частоте из множества  $\{F\}$ , а правый член ряда – частоте с максимальной величиной рассчитанной вероятности ошибки.

Вероятность ошибочного приема элемента сигнала на фоне нормальной помехи принято выражать как функцию отношения средней энергии сигнала к спектральной плотности помехи на входе приемного устройства [3]:

$$h_0^2 = \frac{P_c T_c}{v_n^2}, \quad (4)$$

где  $v_n^2$  – спектральная плотность помех,  $P_c T_c$  – энергия сигнала за длительность  $T_c$ .

Вследствие неизвестной априори величины спектральной плотности помехи  $v_n^2$ , которая реализуется в полосе приема, вероятность ошибки  $p_{\text{ош}}$  также является случайной величиной, и ее закон распределения вероятностей определяется функциональной зависимостью  $p_{\text{ош}}(h^2)$  и функцией распределения величины  $h^2$ . Спектральная плотность помех, как и мощность помех, является случайной величиной во времени на одной частоте и по оси частот. Вместе с тем величина  $h^2$  связана со значениями мощности сигнала и помехи следующим образом:

$$h_0^2 = \left(\frac{P_c}{P_n}\right) F T_c, \quad (5)$$

так как  $P_n = v_n^2 F$ . Поэтому при приеме двоичных сигналов отношение мощности сигнала к мощности помех, запишется в виде:

$$z = 10 \lg h^2 = 10 \lg \left(\frac{P_c}{P_n}\right) = y - x, \quad (6)$$

где  $y$  – уровень полезного сигнала,  $x$  – уровень случайных помех

На основе вычисленных значений выстраиваются вариационные ряды для соответствующих значений:

$z_1 \leq z_2 \leq z_3 \leq \dots \leq z_k$  – отношение сигнал/помеха в децибелах для соответствующих частот из множества  $\{F\}$ , заданного уровня сигнала из множества  $\{P\}$ , заданного вида модуляции и скорости передачи;

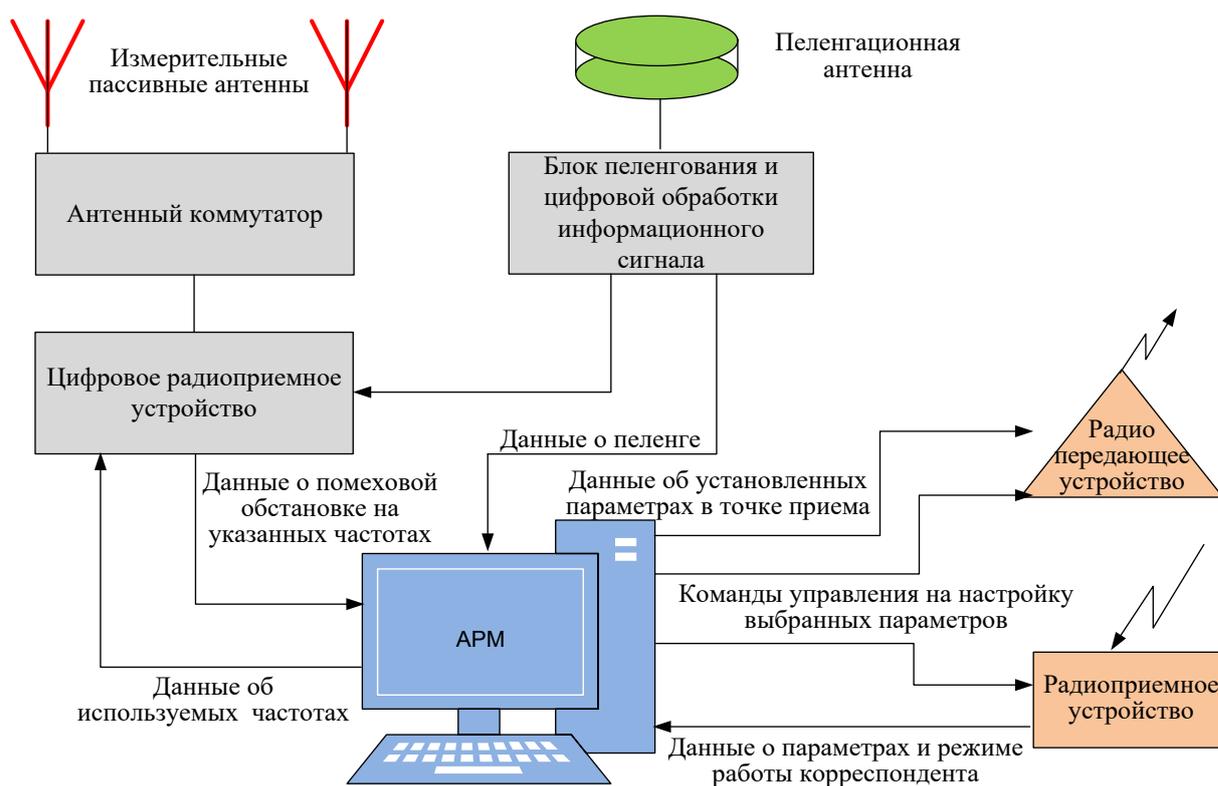
$P_{\text{ош}1} \leq P_{\text{ош}2} \leq P_{\text{ош}3} \leq \dots \leq P_{\text{ош}i}$  – рассчитанная вероятность ошибки для соответствующих частот из множества  $\{F\}$ , заданного уровня сигнала из множества  $\{P\}$ , заданного вида модуляции и скорости передачи.

Количество вариационных рядов для соответствующих значений будет определяться количеством значений из множеств  $\{P\}$  и  $\{B\}$ , и они будут изменяться вместе с изменением помеховой обстановки в точке приема и будут храниться в запоминающем устройстве.

Далее из полученных вариационных рядов выбирают значения частоты, мощности и скорости передачи с учетом следующих условий:  $z \geq z_{\text{допустимое}}$ ,  $P_{\text{ошибки}} \leq P_{\text{ошибки допустимой}}$ , и в соответствии с этими параметрами настраивают радиоприемное устройство, а параметры радиопередающего устройства настраивают в соответствии с данными, полученными от корреспондента по обратному каналу, об оптимальных для него параметрах в точке приема, после чего приступают к обмену информацией. В процессе обмена информацией осуществляют постоянный контроль с помо-

щью встроенных средств измерения за значением коэффициента ошибок в канале связи (вероятностью ошибок). Если вероятность ошибки не превышает заданного допустимого значения, то продолжают обмен информацией. Если же вероятность ошибки превышает заданное допустимое значение (или же начинает приближаться к пороговому значению), то происходит обращение к запоминающему устройству, где уже рассчитаны значения отношения сигнал/помеха и вероятности ошибки (построены вариационные ряды) для текущего временного интервала, и осуществляют изменение параметров радиоприемного устройства в соответствии с текущими данными о помеховой обстановке (изменяют частоту, мощность, скорость передачи информации), и передают эти данные по обратному каналу корреспонденту для изменения параметров радиопередающего устройства. По окончании передачи сообщения осуществляют статистическую обработку данных.

Измерение помеховой обстановки в точке приема информации можно осуществить с помощью устройства, представленного на рисунке 1.



**Рис. 1.** Вариант реализации предлагаемого метода

Пеленгационная антенна, позволяет определить направление на источник и угол прихода помехи для управления диаграммами направленности антенн. Данные с радиоприемного устройства о помеховой обстановке поступают на автоматизированное рабочее место (АРМ) с установленным пакетом прикладных программ, где вычисляют по известным формулам

значения отношения сигнал/помеха и вероятности ошибки и на основе рассчитанных значений выстраивают вариационные ряды для этих параметров, которые впоследствии хранятся в запоминающем устройстве АРМ. Настройку параметров радиоприемных и радиопередающих устройств (рабочая частота, мощность излучения, скорость передачи, диаграмма направленности антенн) осуществляют с АРМ путем передачи команд управления на изменение соответствующего параметра.

### **Заключение.**

Таким образом, использование предлагаемого метода позволит уменьшить энергетические затраты на передачу дискретной информации по каналам передачи данных, сократить время простоя и повысить достоверность передаваемой информации.

### **Библиографический список**

1. Выявление несанкционированных воздействий в сетях спутниковой связи О.Н. Киселев, П.И. Кузин, А.А. Панкин, Телекоммуникации. 2015. Вып.10. – С. 18–21.
2. Липатников В.А., Кузин П.И. Метод повышения оперативности смены параметров адаптации при приеме информации в системах радиосвязи КВ- и УКВ-диапазонов. Автоматизация процессов управления. 2016. № 4 (46). С. 18-22.
3. Lipatnikov V., Kuzin P.I., Rabin A. Methodology for determining the connectivity of communication networks. In the collection: AIP Conference Proceedings. Krasnoyarsk Scientific Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences. Melville, New York, USA, 2021, p. 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

**А.А. Констанатинова**, кандидат технических наук, преподаватель  
Кафедра общепрофессиональных дисциплин  
Военная академия связи имени С.М. Буденного  
usov80@mail.ru

## ПЕРЕДАЧА ИНФОРМАЦИИ В КАНАЛАХ СВЯЗИ С ЗАМИРАНИЯМИ

### INFORMATION TRANSMISSION IN COMMUNICATION CHANNELS WITH FADES

***Аннотация:** Известные методы обеспечения качества передачи информации по цифровым каналам связи на основе адаптивных радиолиний обычно предполагают стационарность параметров исследуемой системы и способ группового использования частот. Возможности этих методов во многом ограничены ввиду сложности вычисления апостериорных распределений гипотетической обстановки, возникающей при приеме сигнала. Вследствие этого в настоящее время в инженерной практике можно встретить мало моделей, позволяющих оценить качество квазикогерентного приема в адаптивных радиолиниях даже в простых ситуациях передачи ортогональных сигналов.*

***Abstract:** The known methods of ensuring the quality of information transmission through digital communication channels on the basis of adaptive radio lines usually assume stationarity of the parameters of the system under study and the method of group use of frequencies. The capabilities of these methods are largely limited due to the difficulty of computing posterior distributions of the hypothetical environment arising during signal reception. As a consequence, at present in engineering practice one can find few models allowing to estimate the quality of quasi-coherent reception in adaptive radio lines even in simple situations of orthogonal signal transmission.*

***Ключевые слова:** передача информации, помехозащищенность, замирания Накагами, адаптивные радиолинии, коэффициент использования радиолиний, мощность сигнала, мощность помехи.*

**Key words:** *information transmission, noise immunity, Nakagami fades, adaptive radio lines, utilization factor of radio lines, signal power, interference power.*

### **Введение.**

Передача информации в каналах связи и вещания, использующих свободное пространство радиоволн, всегда сопровождается флуктуациями амплитуды сигнала. Обычно разделяют два вида амплитудных флуктуаций – быстрые и медленные замирания. Причина быстрых замираний – многолучевая структура сигнала и интерферирующих лучей; причина медленных замираний – затенение первой полузоны Френеля радиосигнала на трассе за счет особенностей рельефа [1]. Так как природа быстрых и медленных замираний различна, их влияние принято рассматривать отдельно.

В большинстве случаев плотность распределения вероятности огибающей радиосигнала при быстрых замираниях описывается законом Релея. В то же время некоторые опубликованные материалы свидетельствуют о том, что уровень сигнала в городских условиях может подчиняться более глубоким замираниям, причем наиболее глубокие замирания наблюдаются около передающего пункта [2]. В зависимости от характера трассы распространения огибающая быстрых замираний (флуктуаций сигнала) может иметь различные распределения.

### **Цель.**

Разработать способ увеличения помехозащищенности при передаче информации в беспроводных каналах связи с замираниями по закону распределения Накагами.

### **Результаты.**

Получены аналитические зависимости вероятности ошибки и коэффициента использования радиолинии от допустимого отношения мощности сигнала к мощности помехи при применении прерывистой связи в каналах с замираниями по закону Накагами. Разработан способ увеличения помехозащищенности информации в каналах связи в сравнении с известными способами приема. Например, при глубине замираний, равной 1,4, для вероятности ошибки  $10^{-4}$  энергетический выигрыш составит более 14 дБ.

### **Практическая значимость.**

Предложенный способ может быть использован для обеспечения защиты передаваемой информации в различных системах связи.

В общем случае для описания плотности распределения вероятности огибающей используют закон распределения Накагами с параметрами распределения  $m$  и  $\mu$ :

$$W(\mu) = \frac{2\mu^{2m-1}}{\Gamma(m)} \left( \frac{m}{\mu_0^2} \right)^m \exp\left( -\frac{m\mu^2}{\mu_0^2} \right), \quad (1)$$

где  $\Gamma(m)$  – гамма-функция,  $m$  – параметр распределения, определяющий степень флуктуаций в канале связи (чем меньше  $m$ , тем более глубокие замирания в канале),  $\mu = \sqrt{\bar{\mu}^2}$  – среднее квадратическое значение  $\mu$ . Из (1) непосредственно следует: при  $m=1/2$  – усеченно-нормальное распределение, при  $m=1$  – релеевское распределение, при  $m \rightarrow \infty$  следует постоянство величины  $\mu$  (флуктуации отсутствуют). Если  $m$  принимает значения больше единицы, то (1) аппроксимирует райсовское распределение с различным отношением между регулярной и флуктуирующей составляющими случайной величины  $\mu$ .

В работе [3] рассмотрена система, объединяющая соотношения для разных методов приема при различных законах замираний сигнала в канале Накагами, и рассчитаны соотношения для вычисления вероятности ошибки при передаче сигналов в канале Накагами. Однако зависимости для случая работы радиолиний с частотной адаптацией в настоящее время исследованы достаточно мало. Функционирование адаптивных радиолиний (АРЛ) осуществляется в сложной стохастической среде, обусловленной априорной неопределенностью условий распространения радиоволн на трассах радиопомех и связи, различием уровней помех в местах расположения корреспондентов. Радиосигналы, приходящие в точку приема, подвержены воздействию различного рода помех.

Методы моделирования качества цифровой связи на основе адаптивных радиолиний. Известные методы моделирования качества цифровой связи на основе АРЛ обычно предполагают стационарность параметров исследуемой системы и групповой способ использования частот [4]. Возможности этих методов во многом ограничены ввиду сложности вычисления апостериорных распределений гипотетической обстановки, возникающей при приеме сигнала.

Можно считать, что распределение Накагами является более общим для описания замираний сигнала, а оценка параметров распределения  $m$  и  $\mu$  является необходимой для определения характеристик канала связи при передаче информации. Действительно, параметр распределения  $\mu$  характеризует среднюю мощность замирающего сигнала, а параметр  $m$  – глубину замираний. Известно, что оценка параметра  $m$  имеет особо важное значение в системах связи с частотной адаптацией. Как показывают расчеты [5], системы связи, в которых учитываются различия в глубине замираний между частотно-разнесенными радиоканалами, обладают существенным энергетическим выигрышем по сравнению с системами, в которых различиями пренебрегают.

При анализе систем связи с временным дуплексом, работающих на одной несущей частоте, замирания сигналов на линиях вниз и вверх коррелированы при условии, что  $T \ll \tau$ , где  $T$  – время распространения сигнала

по линии связи,  $\tau$  – интервал корреляции огибающей сигнала во времени. В этом случае, измеряя уровень сигнала на входе приемника абонентской станции (АС) от базовой станции (БС), можно осуществлять стробирование передатчика в моменты, наиболее благоприятные для распространения сигналов, то есть, когда отношение сигнал/помеха (ОСП) на входе его приемника выше заданного порогового значения ( $h_t$ ). Благодаря этому исключается связь между абонентами в моменты глубокого замирания сигналов, когда фиксируется наибольшее количество ошибок передачи информации.

Исследование надежности связи радиолиний при замираниях. Выполним исследование зависимости надежности связи радиолиний при замираниях ( $m = 0,6; 1; 1,4; 8$ ) для сигналов с частотной адаптацией двоичной относительной фазовой модуляции (ОФМ-2) при требуемой  $h=15$  дБ.

Частота замираний сигнала при распространении в тропосфере составляет десятки герц в зависимости от радиочастоты. Например, на несущей частоте 4 ГГц они составят 10-15 Гц, а на 10 Гц – 20-25 Гц. Соответственно, при этом длительность замираний составляет десятки миллисекунд. Указанная длительность не должна приводить к большим задержкам сигнала при организации прерывистой связи.

Амплитуда огибающей сигнала ( $R$ ) при замирании по закону Накагами в точке приема описывается плотностью вероятности

$$p_R = \frac{2}{\Gamma(m)} \left(\frac{m}{\mu^2}\right)^m R^{2m-1} \exp\left(-\frac{m}{\mu^2} R^2\right). \quad (2)$$

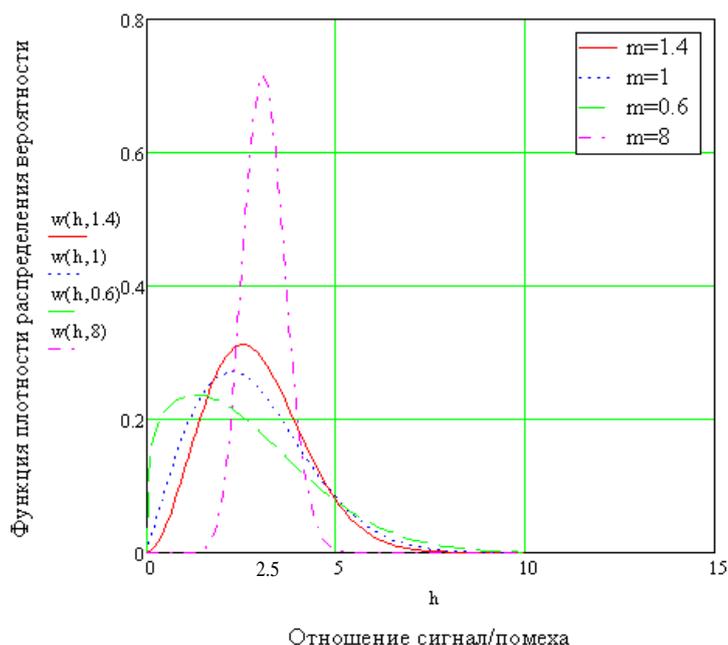
Используя известные соотношения  $h = \frac{R^2 T}{N}$ ,  $h_0 = \frac{\langle R^2 \rangle T}{N}$ , где  $T$  – длительность принимаемого бита,  $N$  – спектральная плотность мощности белого гауссовского шума (БГШ),  $h$  – текущее отношение энергии сигнала к спектральной плотности помехи,  $h_0$  – среднее отношение энергии сигнала к спектральной плотности помехи, а также зависимости

$$p_R \cdot dR = f_h \cdot dh, \quad f_h = p_R \cdot \frac{dR}{dh}, \quad \frac{dR}{dh} = \frac{1}{2} \cdot \sqrt{\frac{N}{hT}}, \quad (3)$$

определим зависимость плотности вероятности  $f_h$  от ОСП при известных  $m$  и  $h_0$ :

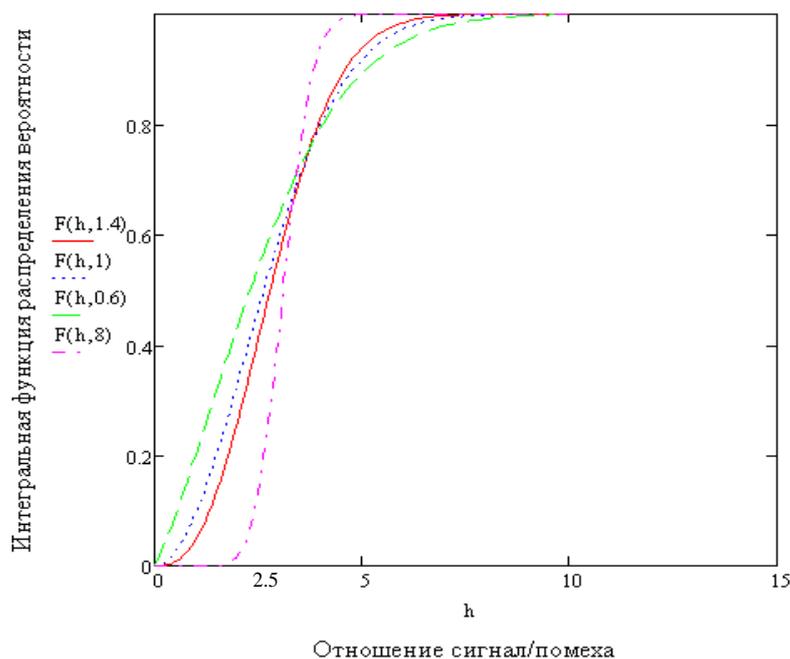
$$f_h = \frac{h^{m-1}}{\Gamma(m)} \left(\frac{m}{h_0} \exp\left(-\frac{h}{h_0}\right)\right)^m. \quad (4)$$

Полученные значения функции плотности вероятности от ОСП при  $h_0=2,5$  и различных значениях параметра  $m$  приведены на рисунке 1.



**Рис. 1** Значения плотности вероятности от отношения сигнал/помеха при  $h_0=2,5$  и различных значениях параметра  $m$

Значения интегральной функции распределения вероятности от ОСП при  $h_0=2,5$  и различных значениях параметра  $m$  приведены на рисунке 2.



**Рис. 2** Значения интегральной функции распределения вероятности от отношения сигнал/помеха при  $h_0=2,5$  и различных значениях параметра  $m$

Для варианта прерывистой связи определим вероятность ошибки передаваемых данных и спектральную эффективность канала связи, которая зависит от коэффициента использования радиолинии.

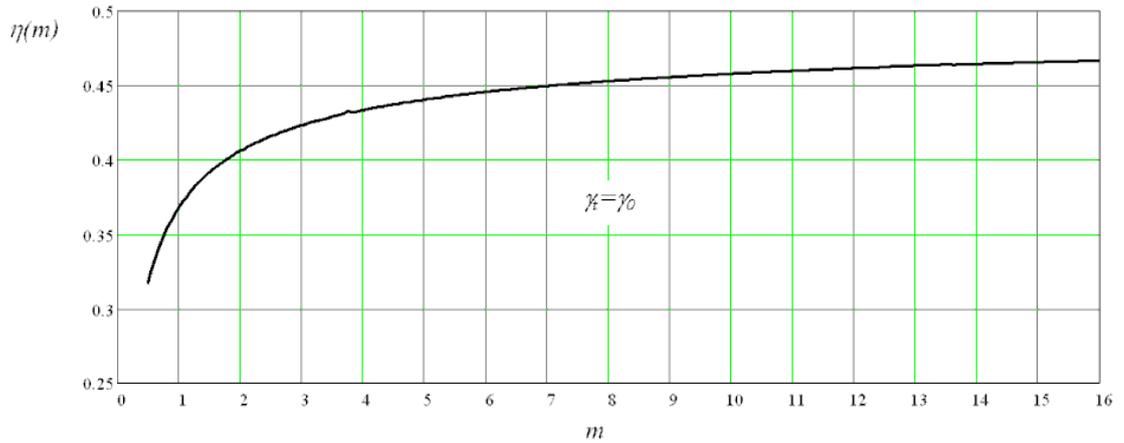
Поскольку при прерывистой связи передача данных между БС и АС возможна только в момент превышения значения ОСП на входе приемника заданного порогового уровня ( $h_t$ ), целесообразно определить коэффициент

использования радиолинии ( $n$ ) как соотношение времени передачи данных к общему времени сеанса связи. При заданном значении параметра замираний ( $m$ ) он составит

$$\eta(h_0) = \int_{h_t}^{\infty} \frac{h^{m-1}}{\Gamma(m)} \left( \frac{m}{h_0} \exp\left(-\frac{h}{h_0}\right) \right)^m dh = \frac{1}{\Gamma(m)} \left( \frac{m}{h_0} \right)^m \int_{h_t}^{\infty} h^{m-1} \exp\left(-\frac{hm}{h_0}\right) dh. \quad (5)$$

После соответствующих преобразований коэффициент использования радиолинии становится равным  $\eta(h_0) = \frac{\Gamma(m, m \frac{h_t}{h_0})}{\Gamma(m)}$ .

Из анализа графической зависимости на рисунке 3 следует, что при малых параметрах  $m$  значение  $n$  быстро возрастает, поскольку в этом случае среднее значение плотности вероятности ОСП (см. рисунок 1) стремится к нулю, а глубина замираний и вероятность низких значений уровня сигнала возрастают.



**Рис 3.** Коэффициент использования радиолинии в зависимости от параметра  $m$  при  $h_t = h_0$

Коэффициент использования радиолинии и скорость передачи данных (при фиксированном значении  $k$ ) будут зависеть только от параметра  $m$ , характеризующего глубину замираний.

Усредняя вероятности ошибочного некогерентного приема сигнала ОФМ-2 для канала с БГШ по статистике полученных замираний (4) по всем значениям  $h$  для непрерывной связи и  $h \geq h_t$  для прерывистой связи, определим вероятности ошибочного приема в канале с замираниями сигнала по закону Накагами для непрерывной (6) и прерывистой (7) связи.

$$p_{nc}(h_0) = \frac{1}{2} \int_0^{\infty} \exp(\alpha h) \frac{h^{m-1}}{\Gamma(m)} \left( \frac{m}{h_0} \exp\left(-\frac{h}{h_0}\right) \right)^m dh = \frac{1}{\Gamma(m)} \left( \frac{m}{h_0} \right)^m \int_0^{\infty} h^{m-1} \exp\left(-\frac{hm}{h_0} + \alpha h\right) dh, \quad (6)$$

$$p_{nc_l}(h_0) = \frac{1}{2\eta} \int_{h_0\eta}^{\infty} \exp(\alpha h) \frac{h^{m-1}}{\Gamma(m)} \left( \frac{m}{h_0\eta} \exp\left(-\frac{h}{h_0\eta}\right) \right)^m dh = \frac{1}{\Gamma(m)} \left( \frac{m}{h_0\eta} \right)^m \int_{h_0\eta}^{\infty} h^{m-1} \exp\left(-\frac{hm}{h_0\eta} + \alpha h\right) dh, \quad (7)$$

где  $\alpha=1$  и  $0,5$  – соответственно для некогерентного приема фазо- и частотно-манипулированных сигналов,  $p_{nc}(h_0)$ ,  $p_{nc-l}(h_0)$  – соответственно вероятности ошибок приема сигналов при непрерывной и прерывистой связи в канале с замираниями. В формуле (7)  $h_t=h_0$ .

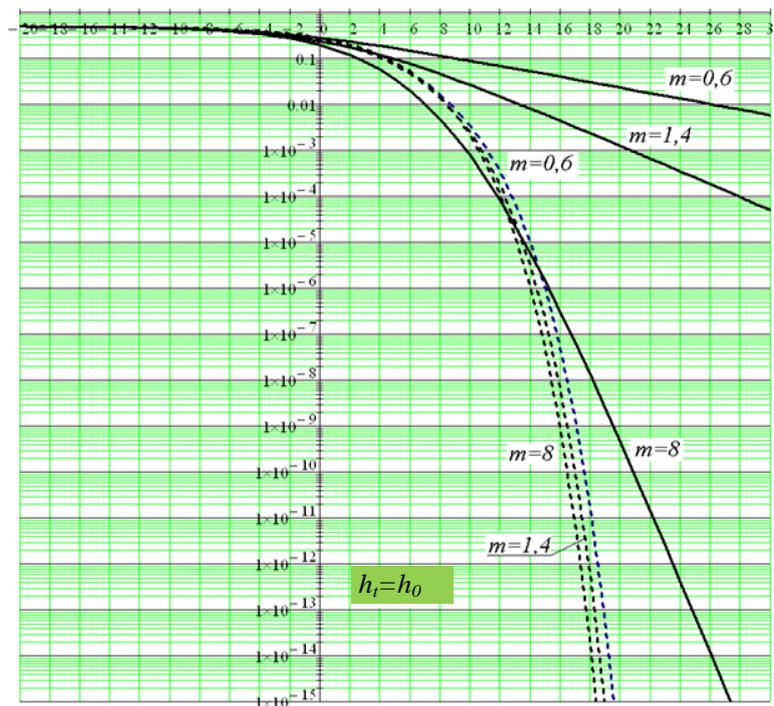
Коэффициент использования радиолинии ( $n$ ) в нижнем пределе интегрирования (7) показывает, что мощность передатчика неизменна, то есть не увеличивается обратно пропорционально  $n$ , и, соответственно, энергия каждого бита и среднее ОСП снижаются в  $n$  раз.

После соответствующих преобразований вероятности ошибочного приема в канале с замираниями сигнала по закону Накагами при непрерывной (6) и прерывистой (7) связи становятся равными соответственно:

$$p_{nc}(h_0) = \frac{1}{2} \left(\frac{m}{h_0}\right)^m \left(\frac{m}{h_0} + \alpha\right)^{-m}, \quad (8)$$

$$p_{nc-l}(h_0) = \frac{1}{2} \frac{1}{\Gamma(m, m)} \left(\frac{m}{h_0} \frac{\Gamma(m)}{\Gamma(m, m)}\right)^m \left(\frac{m}{h_0} \frac{\Gamma(m)}{\Gamma(m, m)} + \alpha\right)^{-m} \Gamma\left(\frac{\Gamma(m, m)}{\Gamma(m)}\right). \quad (9)$$

На рисунке 4 представлены значения вероятности ошибок некогерентного приема сигнала ОФМ-2 в каналах с замираниями по закону Накагами.



**Рис. 4.** Вероятности ошибки некогерентного приема сигнала ОФМ-2 в каналах с замираниями по закону Накагами при непрерывной (сплошные линии) и прерывистой (пунктирные линии) связи

Анализ кривых на рисунке 4 показывает, что при высоком ОСП помехозащищенность прерывистой связи при передачи информации существенно лучше непрерывной.

## **Заключение.**

Получены аналитические выражения вероятности ошибки, коэффициента использования радиолинии от допустимого отношения мощности сигнала к мощности помехи при применении прерывистой связи в каналах с замираниями по закону Накагами.

Предложен способ увеличения помехозащищенности передаваемой информации по беспроводным каналам связи, в сравнении с известными способами приема. Так при  $m$  равном 1,4 для вероятности ошибки  $10^{-4}$  энергетический выигрыш составит более 14 дБ. При снижении значения параметра замираний энергетический выигрыш будет возрастать.

## **Библиографический список**

1. Скляр Б. Цифровая связь. Технические основы и практическое применение. Пер. с англ. – М.: Вильямс. 2004.
2. Липатников В.А. Методы радиоконтроля. Теория и практика / В.А. Липатников, О.В. Царик // Монография. Сер. «Система технической защиты информации в Российской Федерации». – СПб.: 2018. 607 с.
3. Чучин Е.В. Система моделей качества передачи цифровых сигналов по радиоканалам с замираниями Накагами. // Научный журнал Курского государственного университета. – 2014. №1. С. 42-44.
4. Lipatnikov V., Kuzin P.I., Rabin A. Methodology for determining the connectivity of communication networks. In the collection: AIP Conference Proceedings. Krasnoyarsk Scientific Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences. Melville, New York, USA, 2021, p. 70059.
5. Липатников В.А., Кузин П.И. Метод повышения оперативности смены параметров адаптации при приеме информации в системах радиосвязи КВ- и УКВ-диапазонов. Автоматизация процессов управления. 2016. № 4 (46). С. 18-22.

**К.В.Кузнецов**, аспирант  
Кафедра информационных систем и технологий  
СПбГЛТУ им. С. М. Кирова  
k-403@yandex.ru

**Н.С.Жовнеров**, студент 4 курса  
Кафедра информационных систем и технологий  
СПбГЛТУ им. С. М. Кирова  
n.zhovnerov@yandex.ru

## **ОБЗОР СОВРЕМЕННОГО ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ РЕШЕНИЯ КАРТОГРАФИЧЕСКИХ ЗАДАЧ, В ТОМ ЧИСЛЕ ЗАДАЧ ДВОЙНОГО НАЗНАЧЕНИЯ**

### **AN OVERVIEW OF MODERN SOFTWARE FOR SOLVING CARTOGRAPHIC TASKS, INCLUDING DUAL-USE TASKS**

***Аннотация:** В последние десятилетия, в связи с развитием компьютерной техники, возникли вопросы отображения пространственно-координированной информации, увеличившиеся компьютерные мощности обеспечили возможность создания новых видов цифровых карт. В данной статье рассмотрим некоторые виды программного обеспечения, которое применяется в картографии.*

***Annotation:** In recent decades, due to the development of computer technology, issues of displaying spatially coordinated information have arisen, increased computer power has made it possible to create new types of digital maps. In this article, we will consider some types of software that is used in cartography.*

***Ключевые слова:** ГИС, QGIS, ArcGIS, MAP Info, ГИС ИНТЕГРО, геоинформационные системы двойного назначения.*

***Keywords:** GIS, QGIS, ArcGIS, MAP Info, GIS INTEGRO, dual-purpose geo-information systems.*

Технологии развития картографического производства карт изменяются ежегодно, согласно последним достижениям в области науки и техники. Современные цифровые карты используются повсеместно в различных отраслях деятельности. Цифровые карты по своей сути, являются продолжением развития стандартных картографических произведений, однако имеют ряд преимуществ, к таким преимуществам относятся:

1. мультимасштабируемость;
2. возможность определения географических координат;
3. возможность создания тематических полигонов;

4.картометрические операции в режиме он-лайн;

5.всесторонний, динамический анализ территории на основе карт.

В качестве инструмента, позволяющего пользователям искать, анализировать и редактировать как цифровую карту местности, так и дополнительную информацию об объектах, используются различные геоинформационные системы (ГИС).

ГИС – это система сбора, хранения, анализа и графической визуализации пространственных (географических) данных и связанной с ними информации о необходимых объектах.

Всё большее значение имеет оперативная информация, полученная средствами БЛА, которая может быть интегрирована в среду геоинформационной системы. С ростом уровня напряженности в отношениях между странами становится актуальным применение технологий двойного назначения, применение которых возможно не только в гражданских целях, но и, в случае вооруженного конфликта, для получения и оперативной обработки информации непосредственно на линии боевого соприкосновения.

Рассмотрим четыре из наиболее часто используемых геоинформационных систем.

## **1. MapInfo**

MapInfo Professional - геоинформационная система, позволяющая создавать и анализировать карты стран, территорий, районов, городов и всего, что может рассматриваться как карта или план. Кроме того, MapInfo позволяет решать сложные задачи географического анализа на основе реализации запросов и создания различных тематических карт, осуществлять связь с удаленными базами данных, экспортировать географические объекты в другие программные продукты и многое другое.

Основные возможности MapInfo:

- работа с векторными данными и связанной с ними тематической информацией;
- возможность редактирования картографической информации, в том числе по снимкам, используя их в качестве растровой подложки;
- просмотр данных в любом количестве и по-разному представленных, в виде окон трех видов: Карта, Список и График.
- разнообразные средства визуализации информации с помощью создания тематических карт;
- изменение проекций карт;
- составление запросов разной сложности: от простых выборок из отдельных файлов до сложных SQL - запросов по нескольким файлам;
- прямой доступ к файлам, созданным в dBase или графических файлах различных форматов.

MapInfo позволяет работать со следующими форматами: GIF, JPG, TIF, PCX, BMP, TGA, BIL

В данный момент эта геоинформационная система недоступна для российских пользователей.

## 2. QGIS

QGIS — свободная кроссплатформенная геоинформационная система с открытым кодом, состоящая из настольной и серверной части:

- QGIS Desktop — настольная ГИС для создания, редактирования, визуализации, анализа и публикации геопространственной информации. Под «QGIS» часто имеют в виду именно QGIS Desktop.
- QGIS Server и QGIS Web Client — серверные приложения для публикации в сети проектов, созданных в QGIS Desktop, через сервисы, совместимые с OGC-стандартами (например, WMS и WFS).

QGIS работает в Windows и в большинстве платформ Unix (включая Mac OS), поддерживает множество векторных и растровых форматов и баз данных, а также имеет богатый набор встроенных инструментов

С помощью QGIS можно просматривать и накладывать друг на друга векторные и растровые данные в различных форматах и проекциях без преобразования во внутренний или общий формат. Поддерживаются следующие основные форматы:

- пространственные таблицы *PostgreSQL* с использованием PostGIS, векторные форматы, поддерживаемые установленной библиотекой *OGR*, включая *GeoJSON*, *shape-файлы* ESRI, *MapInfo*, *SDTS* (Spatial Data Transfer Standard) и *GML* (Geography Markup Language) и др.
- Форматы растров и графики, поддерживаемые библиотекой *GDAL* (Geospatial Data Abstraction Library), такие, как *GeoTIFF*, *Erdas IMG*, *ArcInfo ASCII Grid*, *JPEG*, *PNG* и др.
- Форматы *World-файла* вместе с поддерживаемыми типами растровых изображений
- базы данных *Spatialite*
- растровый и векторный форматы *GRASS* (область/набор данных).

Есть возможность создавать карты и исследовать пространственные данные с помощью удобного графического интерфейса, включающего большое количество полезных инструментов:

- перепроецирование «на лету»
- компоновщик карт
- панель обзора
- пространственные закладки
- определение/выборка объектов
- редактирование/просмотр/поиск атрибутов
- подписывание объектов
- изменение символики векторных и растровых слоёв

- добавление слоя координатной сетки — теперь средствами расширения fTools
- добавление к макету карты стрелки на север, линейки масштаба и знака авторского права
- сохранение и загрузка проектов

QGIS предоставляет, в частности, следующие возможности работы с данными:

- инструменты оцифровки для форматов, поддерживаемых библиотекой OGR, и векторных слоёв GRASS
- создание и редактирование shape-файлов и векторных слоёв GRASS
- геокодирование изображений с помощью модуля пространственной привязки
- инструменты GPS для импорта и экспорта данных в формате GPX, преобразования прочих форматов GPS в формат GPX или скачивание/загрузка непосредственно в прибор GPS (в Linux usb: был добавлен в список устройств GPS)
- визуализация и редактирование данных OpenStreetMap
- создание слоёв PostGIS из shape-файлов с помощью плагина SPIT
- обработка слоёв PostGIS
- управление атрибутами векторных данных с помощью новой таблицы атрибутов или модуля Table Manager
- сохранение снимков экрана как изображений с пространственной привязкой.

Как и все современные ГИС QGIS позволяет создавать публикацию карт в интернете.

QGIS может быть адаптирован к особым потребностям с помощью расширяемой архитектуры модулей. QGIS предоставляет библиотеки, которые могут использоваться для создания модулей. Можно создавать отдельные приложения, используя языки программирования C++ или Python.

### 3. ArcGIS

ArcGIS – комплекс геоинформационных программных продуктов, американской компании ESRI. Применяется для земельных кадастров, в задачах землеустройства, учёта объектов недвижимости, систем инженерных коммуникаций, геодезии и недропользования и других областях. С помощью ArcGIS можно легко создавать данные, карты, глобусы и модели в настольных программных продуктах, затем публиковать их и использовать в настольных приложениях, в веб-браузерах и в поле, через мобильные устройства. Для разработчиков ArcGIS даёт все необходимые инструменты для создания собственных приложений.

#### 4. ГИС INTEGRA

Программно-технологический комплекс ГИС INTEGRA, является полностью российской разработкой. Наряду со стандартным набором инструментов для выполнения картографических работ (ввод, редактирование, пространственный анализ, координатная привязка, оформление и печать), сопоставимым с функционалом ArcGIS, комплекс предоставляет ряд существенных преимуществ для проведения прикладных геолого-геофизических исследований:

- возможность одновременной визуализации картографических, профильных и скважинных данных с синхронизацией по X,Y,Z, обработка и трехмерная визуализация поверхностей, сечений и кубов данных в многооконном интерфейсе ГИС-проекта, не предоставляемая в пакете в ArcGIS, но крайне необходимая при работе с геолого-геофизической информацией.
- блок обработки гравиметрической и магнитометрической информации, включающем корреляционно-спектральный анализ, разделение поля на компоненты, обнаружение аномалий на фоне случайных помех, и зондирование, решение прямых и обратных задач в различных постановках. Функционал блока сопоставим с возможностями пакета Oasismontaj фирмы GEOSOFT и может заменить его во многих задачах.
- инструменты пространственного анализа и блок решения прогнозно-диагностических задач, реализующий большое число алгоритмов классификации и распознавания по многомерным наборам геоданных.

Также к важным преимуществам комплекса можно отнести простоту установки, нетребовательность к аппаратным средствам, наличие готовых обучающих материалов и бесперебойно функционирующую службу поддержки пользователей.

Таблица 1

**Сводная сравнительная таблица основных возможностей рассматриваемых ГИС**

ГИС	ArcGIS	ГИС INTEGRA	QGIS	MapInfo
Операционная система	WIN 64, WIN 32	WIN 64, WIN 32 Linux (в разработке)	WIN 64, WIN 32, MacOS, Android	WIN 64, WIN 32
Рабочие форматы данных				
Векторные	Shape, Arc/Info Coverage	Shape	Shape, Mapinfo, KML, Autocad, GeoJSON	Shape, Mapinfo
Базы геоданных	GDB, MDB, файловая БД	GDB: чтение, PostgreSQL: чтение/редактирование в разработке	PostgreSQL, SQLite, ESRI Per-	Oracle, Microsoft SQL Server,

			sonal, MySQL	PostGIS, SQLite
Растровые	все растровые форматы	все растровые форматы	все растровые форматы	GIF, JPG, TIF, PCX, BMP, TGA, BIL
Регулярные сети	ESRI Grid	Pgrid, ESRI Grid - чтение, импорт/экспорт	MMQGIS	ESRI Grid
Табличные	DBASE, XLS	DBASE	DBASE	DBASE
Форматы сторонних пакетов				
Форматы сторонних пакетов	KML, IMG, SID (MrSID), DGN, DWG, DXF, TIN, VPF, ADS, AGF, DFAD, DIME, DLG, ETAK, GIRAS, IGDS, IGES, MIF, MOSS, SDTS (точка, растр и вектор), SLF TIGER (through v2002), Sun Raster + форматы доп.модуля Data Interoperability	DXF, E00, GEN, JSON, GEOJSON, GPX, GML, KML, MIF, TAB, SPL, UKO, UKOOA, Arc/Info ASCII Grid, USGS Ascii DEM, GRD Surfer, Arc/Info Binary Grid, IMG (ADRG Image), JP2/PRF/X- DEM (PHOTOMOD), SID (MrSID)	CSV, DXF, GPX, OSM, SGP, SQLITE, TAB	GIF, JPG, TIF, PCX, BMP, TGA, BIL
Формат ГИС-проекта	MXD	_IP Для конвертирования проектов из ArcGIS в формат INTEGR0 разработано специальное расширение (работает из-под ArcGIS)	QGS	TAB
Визуализация геоданных в 2D/3D	+ (многооконный интерфейс есть только в последней версии ArcGIS Pro)	+ Многооконный интерфейс с синхронизацией изображения по X,Y,Z	+	+
Ввод и редактирование векторных данных с поддержкой внутри и межслойной топологии	+	+	+	+

Построение топологических структур данных	+	+	+	+
---	---	---	---	---

**Выводы:** Рассмотренные геоинформационные системы имеют относительно схожий функционал. В плане добавления индивидуальных настроек наиболее удобным является QGIS за счет наличия открытого кода. Стоит отметить, что в связи со сложившейся международной обстановкой, для применения в качестве технологий двойного назначения мы можем рассматривать только отечественную разработку ГИС ИНТЕГРО

### Библиографический список

1. Кокарева, Я. В. Интерактивные карты: современный подход в туристской сфере / Я. В. Кокарева // Наука и молодёжь: новые идеи и решения: Материалы XV Международной научно-практической конференции молодых исследователей, Волгоград, 24–26 марта 2021 года. Том Часть I. – Волгоград: Волгоградский государственный аграрный университет, 2021. – С. 256-257.
2. Авдеева, Е. А. Интерактивные карты как элемент цифровой инфраструктуры жилищно-коммунального хозяйства / Е. А. Авдеева, Т. А. Аверина, Ю. С. Лаврова // Теория и практика экономики и предпринимательства: труды XVIII Всероссийской с международным участием научно-практической конференции, Симферополь-Гурзуф, 27–29 апреля 2021 года. – Симферополь: Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, 2021. – С. 199-201.
3. <https://redos.redsoft.ru/base/arm/armother/qgis/?ysclid=lt0btglnk589742893>
4. Свободная электронная энциклопедия [ru.wikipedia.org](http://ru.wikipedia.org)
5. <http://www.gis-integro.ru/>

**М.М. Кумарина**, студентка 5 курса ВШПМ  
Санкт-Петербургский государственный университет  
промышленных технологий и дизайна  
cumarina2017@yandex.ru

**М.П. Филяев**, профессор, доктор технических наук  
Кафедра информационных систем и технологий  
СПбГЛТУ им. С. М. Кирова  
mastkon@yandex.ru

## ПРИМЕНЕНИЕ МОДЕЛЕЙ GPT ДЛЯ ПРОДВИЖЕНИЯ ОНЛАЙН-МАГАЗИНА ИНТЕРЬЕРНОЙ ПЕЧАТИ

### USING GPT MODELS FOR PROMOTION ONLINE STORE FOR INTERIOR PRINTING

***Аннотация.** С учетом того, что быстрое развитие инфокоммуникационных технологий стало ключевым фактором отказа большинства компаний от использования только традиционных методов продаж товаров и услуг, актуальным является продвижение онлайн-магазинов на основе внедрения в их работу современных интеллектуальных технологий. В статье рассмотрены особенности функционирования онлайн-магазина интерьерной печати и предложены пути его совершенствования на основе применения моделей GPT, что является ключевым звеном, обеспечивающим эффективность проведения его рекламных кампаний в современных условиях.*

***Abstract.** Given that the rapid development of information and communication technologies has become a key factor in the refusal of most companies to use only traditional methods of selling goods and services, it is relevant to promote online stores based on the introduction of modern intelligent technologies into their work. The article examines the features of the functioning of an online interior printing store and suggests ways to improve it based on the use of GPT models, which is a key link ensuring the effectiveness of its advertising campaigns in modern conditions.*

***Ключевые слова:** генерация изображений, дизайн интерьера, интерьерная печать, модель GPT, нейросеть, онлайн-магазин, продвижение, чат-бот.*

***Keywords:** image generation, interior design, interior printing, GPT model, neural network, online store, promotion, chatbot.*

Быстрое развитие инфокоммуникационных технологий стало ключевым фактором отказа большинства компаний от использования только традиционных методов продаж товаров и услуг. Интернет стал основной

торговой площадкой и в настоящее время сложно представить себе успешную компанию, занимающуюся продажей каких-либо товаров и услуг без сайта, на котором можно в онлайн-режиме выбрать, оценить и оплатить покупки. Электронная торговля не имеет ограничений по площади и на веб-сайтах компаний, как правило, представляется широкий ассортимент товаров, позволяющий покупателям приобрести именно то, что им требуется.

Вместе с тем необходимо отметить, что интернет-торговля в сфере услуг имеет существенные отличия от продажи в онлайн-режиме готовых товаров и изделий в соответствии с каталогами представленной продукции. Особенно это касается сферы услуг, связанных с дизайном интерьеров.

Пользующиеся популярностью в современном мире фотообои, картины на холсте, интерьерные наклейки, картины на досках и рулонные шторы теперь можно приобрести через онлайн-магазины интерьерной печати [1]. Онлайн-магазины для заказа продукции интерьерной печати становятся все более востребованными. На официальных сайтах указанных магазинов современные онлайн-конструкторы, как правило, позволяют выбрать рисунок, размер, материал, цвет изделия, а также загрузить свое собственное изображение для печати. Платформы с возможностью предварительного просмотра и редактирования дизайна ускоряют и упрощают процесс выбора и заказа продукции декора для оформления помещений.

Рынок онлайн-магазинов интерьерной печати, в частности в Санкт-Петербурге, активно развивается. Большинство онлайн-магазинов такого формата открыто в период с 2012 по 2020 годы. Они предлагают различные виды продукции для оформления интерьеров. Кроме того, в рамках оформления заказов предлагаются дополнительные услуги, такие как цветопроба и консультация дизайнера интерьера, что делает покупки еще более привлекательными. Вместе с тем, увеличение числа компаний, предлагающих услуги интерьерной печати, неминуемо приводит к росту конкуренции между ними и обуславливает актуальность продвижения их онлайн-магазинов с целью привлечения новых клиентов и расширения целевой аудитории в целом.

Конкурирующие на рынке интерьерной печати компании, таким образом, постоянно развиваются и предлагают, в том числе, новые инновационные решения и возможности онлайн-магазинов. Результаты проведенного в этой области анализа свидетельствуют о том, что наряду с традиционными применяемыми методами продвижения [1] именно внедрение в работу онлайн-магазинов интерьерной печати современных инноваций является одним из ключевых направлений продвижения на фоне высокой конкуренции, что обосновывается следующими обстоятельствами.

Как уже отмечалось выше, ассортимент продукции онлайн-магазинов интерьерной печати можно разделить на пять основных категорий:

– фотообои;

- картины на холсте;
- картины на досках;
- интерьерные наклейки;
- постеры.

Очевидно, что для изготовления данной продукции на основе интерьерной печати требуется предварительное проведение дизайнерских работ и создание оригинал-макетов для цифровой печати, что существенно расширяет круг вопросов, на которые покупатель должен ответить при посещении онлайн-магазина и формировании заказа. В связи с этим привлекательность онлайн-магазина может быть оценена в соответствии с критериями, представленными в таблице 1 [2].

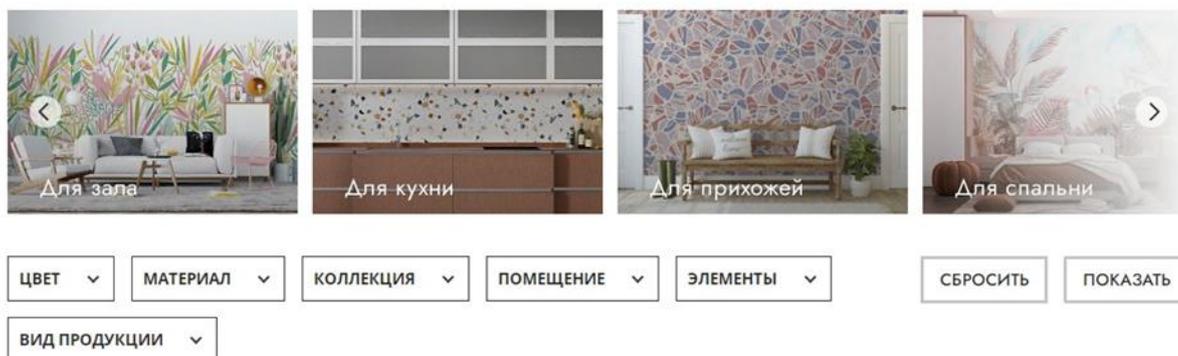
Таблица 1

**Оценка привлекательности онлайн-магазинов интерьерной печати по критериям**

Критерии	Описание
Ассортимент продукции	Онлайн-магазины могут специализироваться на определенных типах товаров, таких как фотообои, постеры, декоративные наклейки, картины на холсте.
Уровень персонализации	Некоторые онлайн-магазины предлагают возможность индивидуальных настроек дизайна, позволяя покупателям загружать собственные изображения.
Качество печати и материалы	Высокое качество печати и использование прочных, долговечных материалов.
Отзывы	Положительные отзывы покупателей могут служить важным критерием при выборе онлайн-магазина интерьерной печати.
Цена и доступность	Цены, наличие акций, скидок и специальных предложений.
Уровень обслуживания и поддержка покупателей	Онлайн-магазины обеспечивающие высокий уровень обслуживания и готовые помочь покупателям в решении различных вопросов.
Готовый продукт	Наличие готовых решений на сайте, может быть одним из факторов классификации онлайн-магазина интерьерной печати.

Анализ содержания и структуры веб-сайтов различных онлайн-магазинов интерьерной печати показывает, что в настоящее время в общем случае требуют дальнейшего развития уровень персонализации и уровень поддержки покупателей. В большинстве случаев, как уже отмечалось выше, покупателю предлагается выбор продукции по каталогу, где дизайн представлен в нескольких существующих вариантах и покупатель может выбрать только размер изображения, материал, на который оно наносится, оттенок, как представлено на рисунке 1 [3].

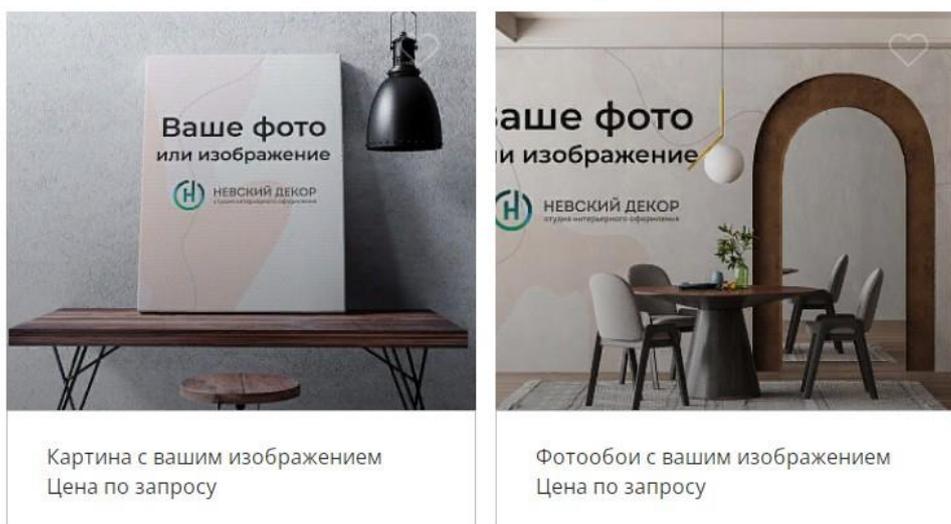
## Фотообои



**Рис.1.** Пример интерфейса покупателя онлайн-магазина интерьерной печати

Тем не менее, следует также отметить, что одной из важных особенностей потребителя на рынке интерьерной печати является его желание создать уникальную и индивидуальную атмосферу в своем доме или квартире.

В этом отношении предложения онлайн-магазинов для покупателя, как правило, ограничиваются созданием своего дизайна по уже имеющимся у покупателя изображениям, как показано на рисунке 2.



**Рис.2** Возможность создания своего дизайна покупателем онлайн-магазина

Таким образом, следует подчеркнуть, что существующие в настоящее время предложения покупателю по созданию своего дизайна весьма ограничены, а предлагаемая онлайн-магазинами интерьерной печати разработка дизайна интерьера с привлечением своих профессиональных дизайнеров не только сопровождается существенными временными потерями, но и значительно повышает стоимость изготовления продукции интерьерной печати. Это обусловлено тем, что профессиональные дизайнеры интерьера пользуются такими программами, как 3ds Max, SketchUp,

ArchiCAD, AutoCAD и на их изучение и шлифовку всех навыков в реальности у них уходят годы, поэтому работа дизайнера традиционно высоко оплачиваема.

Наиболее рациональным путем решения рассматриваемого проблемного вопроса в условиях масштабного развития и внедрения технологий искусственного интеллекта (ИИ) в различные сферы человеческой деятельности предлагается применение моделей GPT [4], в том числе, и в работе онлайн-магазинов интерьерной печати в части разработки дизайна отдельных элементов интерьера.

GPT расшифровывается как Generative Pre-trained Transformer и включает, таким образом, три основных компонента, а именно генеративный, предварительно обученный и трансформирующий. Смысл данных понятий относительно моделей GPT заключается в следующем.

Генеративные модели – это статистические модели, используемые для создания новых данных, которые могут изучать отношения между переменными в наборе данных, чтобы генерировать новые точки данных, аналогичные точкам в исходном наборе.

Предварительно обученные модели были обучены с использованием большого набора данных, который используется, когда сложно обучить новую модель. Предварительно обученная модель может быть не идеальной, но она может сэкономить время и повысить производительность.

Модель преобразователя – искусственная нейронная сеть, созданная в 2017 году, является самой известной моделью глубокого обучения, способной обрабатывать последовательные данные, такие как текст. Многие задачи, такие как машинный перевод и классификация текста, выполняются с использованием моделей-трансформеров.

Раньше языковые модели разрабатывались только для отдельных задач, таких как генерация текста, обобщение или классификация. GPT – это первая обобщенная языковая модель, когда-либо созданная в истории обработки естественного языка, которую можно использовать для различных задач. Искусственный интеллект и машинное обучение, таким образом, проникает в различные отрасли и дизайн интерьера не является исключением.

Инструменты на базе ИИ, такие, например, как ChatGPT [5] и DALL-E 3 [6], могут быть чрезвычайно полезны дизайнерам, поскольку они могут упростить процесс проектирования, предложить новые идеи и существенно повысить производительность.

1. ChatGPT и его аналоги – это чат-бот на базе ИИ, который использует языковую модель для генерации ответов, похожих на ответы человека. Он обучен работе с большим объемом текстовых данных и был разработан для ответа на широкий круг вопросов в различных областях, включая дизайн. ChatGPT может предоставить краткую, точную и актуальную информацию, которую можно использовать для обоснования тех или иных дизайнерских решений, а также поделиться идеями по маркетингу, социальным сетям и

SEO. Введя запрос на естественном языке, таким образом, можно усовершенствовать поиск и сэкономить сотни часов, потраченных на написание блогов и календарей контента.

DALL-E 3 – это современная интеллектуальная система, которая может генерировать разнообразные и высокодетализированные изображения на основе текстовых описаний, как показано на рисунке 3.

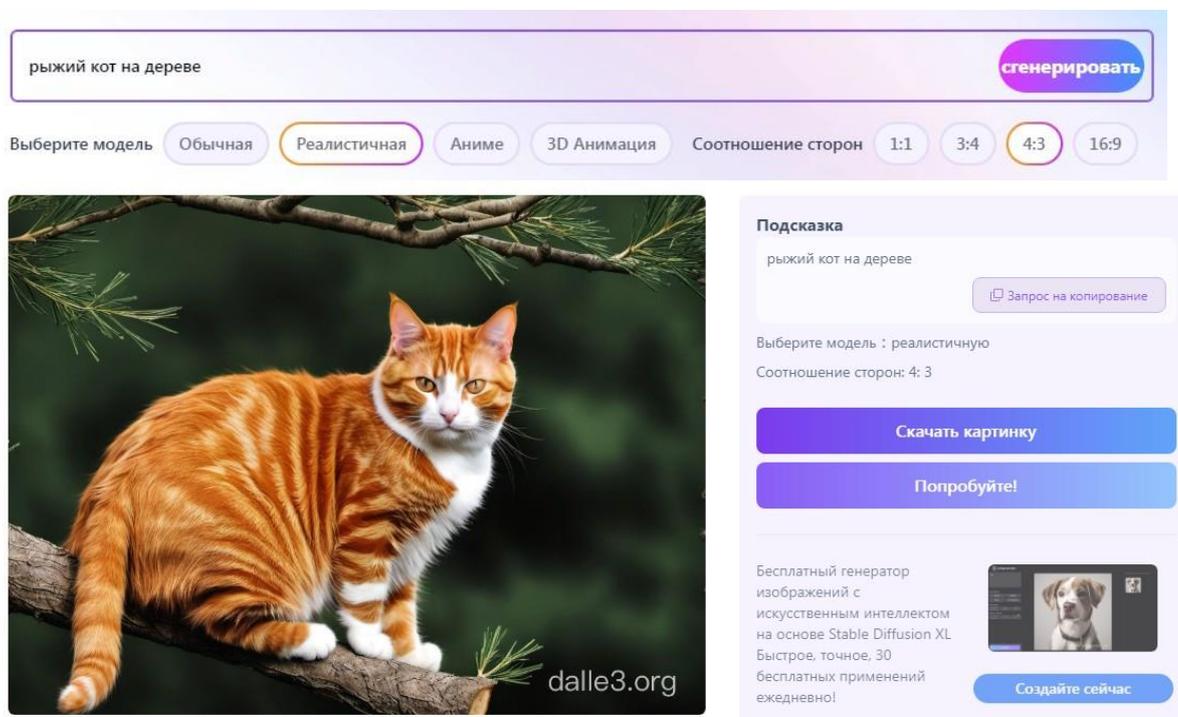


Рис.3. Пример генерации изображения по описанию

Стремительное развитие инструментария создания изображений на основе технологий ИИ сопровождается тенденцией расширения их применения не только профессиональными дизайнерами интерьеров, но и открывает возможность реализовывать свои идеи в дизайне интерьера непосредственно потребителям, в том числе услуг интерьерной печати. Это объясняется совершенствованием возможностей диалога моделей GPT с пользователем.

Достаточно всего лишь сформулировать описание изображения, и нейросеть нарисует несколько релевантных картинок. При правильной настройке параметров возможно сходно получить красочные и качественные рисунки [7]. Нейросети уже очень хорошо понимают специфику любых запросов и стараются подстраиваться к каждой детали, поэтому изображения получаются подходящими, красочными и соответствующими сформулированной идее.

Одной из главных особенностей развития нейросетей, создающих изображения, является их мультязычность. При необходимости можно написать описание к изображению на русском, английском или другом родном языке пользователя. Нельзя не отметить и то, что интерфейс для создания картинок становится все более удобным в целом [7].

В связи с этим к настоящему времени сложились необходимые условия к росту привлекательности онлайн-магазинов интерьерной печати на основе внедрения в их работу инновационных решений, в том числе по созданию дизайна изображений.

Сейчас, как представлено в [2], онлайн-магазин предлагает, например, услугу разработки дизайна изображения для интерьерной печати (консультацию дизайнера). Чтобы воспользоваться этой услугой, необходимо на веб-сайте довести дизайнеру свои идеи, заполнив форму для обратной связи. В течение некоторого времени дизайнер свяжется с покупателем и предложит варианты изображений.

Для того чтобы сократить сроки ожидания покупателя, привлечь новых покупателей, увеличить продажи, можно усовершенствовать данную услугу с помощью чат-бота на основе GPT, генерирующего изображения по описанию. Подключенный чат-бот на основе GPT на официальном сайте онлайн-магазина интерьерной печати позволит тем самым обеспечить более удобную и быструю покупку для покупателей.

Общее представление о применении чат-бота GPT и процессе его коммуникации с покупателем может выглядеть следующим образом. Покупатель заходит на веб-сайт онлайн-магазина и выбирает самостоятельно интересующую его продукцию по каталогу в соответствии с предлагаемыми образцами изображений, вместе с тем ему предлагается бесплатная услуга по созданию своего дизайна путем общения с чат-ботом, возможно путем всплывающего окна. Чат-бот, поприветствуя покупателя, предложит помощь в визуализации помещения, например комнаты, с учетом добавления в него интересующего элемента интерьера. Далее начнет задавать вопросы покупателю об уже существующем интерьере комнаты, а затем об его предпочтениях по цвету, тематике, дизайну, размерам непосредственно интересующей продукции.

Узнав предпочтения покупателя, чат-бот попросит загрузить фотографию комнаты и предложит варианты дизайна интерьера, используя доступные изображения на сайте онлайн-магазина. Кроме того чат-бот может предложить различные варианты своего дизайна изображений различных элементов интерьера, как было показано выше. Покупатель будет взаимодействовать с чат-ботом, вести с ним диалог, оценивать предлагаемые варианты и запрашивать дополнительные. При согласовании выбранного решения по дизайну чат-бот подтверждает его и оформляет заказ.

Для отслеживания заказа чат-бот также предложит удобные варианты коммуникации с покупателем – в личном кабинете онлайн-магазина или на основе sms-рассылки. Стоит еще добавить, что у многих онлайн-магазинов уже функционируют чат-боты в Telegram, поэтому данную идею можно реализовать и в мессенджере, т.к. Telegram стал одним из популярных интернет-ресурсов.

Таким образом, применение чат-бота на основе GPT в онлайн-магазине интерьерной печати позволяет значительно упростить процесс выбора покупателем интересующей продукции, снизить при этом его вре-

менные и финансовые издержки. В свою очередь, повышение уровня персонализации и уровня поддержки покупателей позволит онлайн-магазину выделиться среди других конкурентов в части своей привлекательности, увеличить продажи путем привлечения новых покупателей и тем самым обеспечить возможность дальнейшего продвижения на рынке интерьерной печати.

### Библиографический список

1. Интерьерная печать // [Электронный ресурс].- URL: <https://vcolorite.ru/blog/chto-takoe-interernaya-pechat-to-zhe-samoe,-chto-shirokoformatnaya> (дата обращения: 13.01.2024).
2. Студия интерьерного оформления «Невский декор» // [Электронный ресурс] - URL: <https://ndekor.ru/> (дата обращения: 27.01.2024).
3. Как выбрать типографию. Основные критерии // [Электронный ресурс].URL: <https://raster-spb.ru/articles/19.html?ysclid=lqpvdxrlqk407853701> (дата обращения: 29.12.23).
4. Модель GPT // [Электронный ресурс].- URL: <https://neuroni.co/ru/articles/build-a-gpt-model> (дата обращения: 27.01.2024).
5. Как использовать чудо нейросетей в качестве дизайнера интерьера// [Электронный ресурс].- URL: <https://dzen.ru/a/ZKRxNuEtKgLy7WSG> (дата обращения: 7.01.2024).
6. Нейросеть DALL-E 3// [Электронный ресурс].- URL:<https://www.dalle3.org/ru> (дата обращения: 7.01.2024).
7. Нейросеть, которая рисует по словам на русском// [Электронный ресурс]. – URL:<https://neuro-texter.ru> (дата обращения: 29.01.2024).
8. Пять лайфхаков GPT для дизайнеров // [Электронный ресурс]. – URL: <https://eightify.app/ru/summary/art-and-design/5-chat-gpt-life-hacks-for-designers-how-neural-networks-can-help> (дата обращения: 29.01.2024).
9. Подборка нейросетей для работы с 3D и интерьерами// [Электронный ресурс].- URL: <https://proghunter.ru/articles/a-selection-of-neural-networks-for-working-with-3d-and-interiors> (дата обращения: 29.01.2024).

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

## **ФОРМИРОВАНИЕ И УЧЕТ ПРИКАЗОВ НА ПОощРЕНИЕ СТУДЕНТОВ ЗА АКТИВНОЕ УЧАСТИЕ В ЖИЗНИ УНИВЕРСИТЕТА**

### **FORMING AND ACCOUNTING OF ORDERS TO ENCOURAGE STUDENTS FOR ACTIVE PARTICIPATION IN THE LIFE OF THE UNIVERSITY**

***Аннотация:** одной из форм стимулирования студентов за активное участие в жизни Университета, организацию и выступление на различных конференциях и мероприятиях является благодарственный приказ. Данный благодарственный приказ может являться одним из оснований для назначения обучающимся повышенной государственной академической стипендии, а также быть включен в портфолио студента, которое используется при поступлении в магистратуру, аспирантуру или дальнейшем трудоустройстве. В данной статье рассматривается механизм формирования благодарственного приказа с использованием отдельного разработанного приложения, подключаемого к действующей информационной системе СПбГЛТУ.*

***Annotation:** One of the forms of stimulating students for active participation in the life of the University, organizing and speaking at various conferences and events is an order of gratitude. This order of gratitude can be one of the grounds for assigning students an increased state academic scholarship, as well as be included in the student's portfolio, which is used for admission to graduate school, postgraduate studies or further employment. This article considers the mechanism of forming the order of gratitude using a separate developed application connected to the current information system of SPBFTU.*

***Ключевые слова:** базы данных, информационная система университета, воспитательная работа, портфолио.*

***Keywords:** database, university information system, educational work, portfolio*

Одним из способов поощрения обучающихся за активное участие в жизни Университета, за организацию и участие в различных мероприятиях, конференциях, викторинах, творческих вечерах и концертах является включение таких обучающихся в благодарственный приказ. Данный при-

каз формируется либо управлением по воспитательной работе и молодежной политике либо учебно-методическим управлением, затем официально проводится через отдел делопроизводства, и подписывается руководителем образовательной организации. Сам по себе благодарственный приказ напрямую каких-либо преимуществ или явных поощрений студенту не дает, но может быть использован, как одно из оснований для назначения студенту повышенной государственной академической стипендии[1]. Кроме того данный приказ может быть включен в портфолио обучающегося и впоследствии использоваться при дальнейшем поступлении в магистратуру, аспирантуру или при трудоустройстве.

Для учета и формирования базы благодарственных приказов и включенных в них студентов было разработано отдельное приложение, подключаемое к действующей информационной системе СПбГЛТУ. Подключение к данной системе необходимо для получения актуальной информации по текущему контингенту обучающихся, а также для последующего отображения сведений по приказу в личной карточке студента и в его портфолио в разделе, показанном на рисунке 1.

#	№ приказа	Дата приказа	Тип приказа	Из группы	В группу	Дата с	Дата по	Основания обучения	Учебный год	Дата перемещен
	1491/сх	23.08.2022	Зачислен	Абитуриенты	ЛПб. ИСит-22-3	01.09.2022		СН	2022-2023	29.08.2022
	1286/сх	28.07.2023	Групповой перевод на следующий курс - контракт	ЛПб. ИСит-22-3	ЛПб. ИСит-22-3			Сверхплановый набор	2023-2024	31.07.2023
	1286/сх	28.07.2023	Групповой перевод на следующий курс - контракт	ЛПб. ИСит-22-3	ЛПб. ИСит-22-3			Сверхплановый набор	2023-2024	31.07.2023
	1286/сх	28.07.2023	Групповой перевод на следующий курс - контракт	ЛПб. ИСит-22-3	ЛПб. ИСит-22-3			Сверхплановый набор	2023-2024	28.07.2023

Рис. 1. Отображение приказов по истории студента в портфолио

Приказ об объявлении благодарности формируется не на отдельного студента, он включает в себя ряд проведенных мероприятий с привязкой к ним студентов. Информация по обучающимся и их группам берется из информационной системы СПбГЛТУ, а данные по приказам хранятся в дополнительно созданных и связанных с основной базой таблицах. Анализ рассматриваемой задачи, а также особенностей информационной системы СПбГЛТУ привел к использованию следующей структуры данных[2], необходимой для учета и формирования благодарственных приказов, представленной на рисунке 2.

Принадлежность	Дополнительно созданные таблицы			Информационная система СПБГЛТУ	
Таблица	Приказы	Пункты приказов	Студенты в приказах	Студенты	Группы
Ключ	Код приказа	Код пункта	Код студента+Код пункта	Код студента	Код группы
Внешний ключ	-	Код приказа	Код студента+Код пункта+ Код группы	-	-
Описание	Данные по приказу, дата приказа, формулировка, кто подписывает	Данные по пунктам приказов, порядковый номер в приказе, формулировки	Данные по студентам в приказах, роль студента в мероприятии	Данные по студентам, ФИО, основания, история	Данные по группам, форма обучения, направление, институт, директор

**Рис. 2.** Структура используемых данных

Формирование благодарственного приказа в разработанном приложении начинается с заполнения первичных данных по приказу: дата и номер приказа, преамбула и заголовок приказа, а также ФИО и должность руководителя организации, как показано на рисунке 3.

**Рис. 3.** Создание благодарственного приказа

После создания и ввода первичных данных по приказу, в него необходимо добавить пункты, соответствующие различным мероприятиям, в которых участвовали студенты. В каждый пункт добавляются студенты, и им указывается их роль в проведении указанного мероприятия. Заполнение пунктов приказа показано на рисунке 4.

Редактирование приказа

Приказ: №2315/ск  
 Дата: 2023-11-29  
 Преамбула: Об объявлении благодарности  
 Заголовок: В связи с активным участием в жизни университета, приказываю:  
 Должность: Врио ректора  
 ФИО: Н.В. Беляева

Добавить пункт в приказ

1  
 2  
 3  
 4  
 5  
 6

Удалить пункт из приказа

Объявить благодарность нижеперечисленным обучающимся за организацию и проведение студенческого мероприятия «Поэтический вечер», состоявшегося 01 ноября 2023 года:

Добавить студента в выбранный пункт

ФИО	Группа	Роль	
Антон	ТМ6-ЭТМК-21-1	фотограф, обработка фотографии	✗!
Чингиз	ТМ6-СтМет-21-1	организатор	✗!
Павел	ТМ6-СтМет-21-1	ответственный исполнитель	✗!

Рис. 4. Добавление студентов в благодарственный приказ

В результате по созданному приказу и введенной в него информации по студентам формируется печатный шаблон приказа, вид которого показан на рисунке 5.

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
 РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
 федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования  
 Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова (СПбГЛТУ)

**ПРИКАЗ**

29.11.2023 г. Санкт-Петербург №2315/ск

Об объявлении благодарности

В связи с активным участием в жизни университета, **п р и к а з ы в а ю**:

1. Объявить благодарность нижеперечисленным обучающимся за помощь в проведении мероприятия «Стань студентом на один день» Института леса и природопользования, состоявшегося 01 ноября 2023 года:

ФИО	Группа	Роль в мероприятии
Ирина	ТМ6-СтМет-21-1	волонтер

2. Объявить благодарность нижеперечисленным обучающимся за организацию и проведение студенческого мероприятия «Поэтический вечер», состоявшегося 01 октября 2023 года:

ФИО	Группа	Роль в мероприятии
Антон	ТМ6-ЭТМК-21-1	фотограф, обработка фотографий, создание фото-отчета
Чингиз	ТМ6-СтМет-21-1	организатор
Павел	ТМ6-СтМет-21-1	ответственный исполнитель

3. Объявить благодарность нижеперечисленным обучающимся за помощь в проведении мероприятия «Стань студентом на один день» Института лесного бизнеса и инноватики, состоявшегося 03 ноября 2023 года:

ФИО	Группа	Роль в мероприятии
Егор	ЛБ6-ОУЛП-20-2	волонтер
Дина	ЛП6-ИСИТ-20-2	фотограф, обработка фотографий, создание фото-отчета

Рис. 5. Печать благодарственного приказа

Кроме того после печати и проведения приказа добавлена возможность отображения сведений по благодарственному приказу в карточке студента в информационной системе Университета. Данная функция опциональная и включается на усмотрение структурного подразделения, которое проводит благодарственный приказ. Вид записи по благодарственному приказу в карточке студента в информационной системе Университета показан на рисунке 6.

Перемещения студента							
Дата	Тип Перемещения	Номер Приказа	Дата с	Дата до	Из Группы	В Группу	Курс
17.08.2021	Зачислен	1248/ск	01.09.2021	31.08.2025	Абитуриенты	ТМ6-СтМет-21-1	
28.07.2022	Групповой перевод на сле	1254/ск			ТМ6-СтМет-21-1	ТМ6-СтМет-21-1	1
24.07.2023	Групповой перевод на сле	1233/ск			ТМ6-СтМет-21-1	ТМ6-СтМет-21-1	2
29.11.2023	Благодарственный приказ	2315/ск	29.11.2023		ТМ6-СтМет-21-1		3

**Рис. 6.** Сведения о благодарственном приказе в карточке студента

Преимуществом разработанного приложения является его интеграция с действующей информационной системой Университета. В результате данной интеграции приложение изначально имеет доступ к базе данных СПбГЛТУ, что снижает объем информации, которую необходимо вносить в систему[3]. Разработанное приложение обладает простым и интуитивно понятным интерфейсом, удобно в использовании, нетребовательно к ресурсам компьютера. В настоящий момент приложение установлено у сотрудников учебно-методического управления, управления по воспитательной работе и молодежной политике, а также в студенческом отделе кадров, а результаты функционирования программы могут быть доступны студентам в их портфолио.

### Библиографический список

1. 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.
2. Горбачев В.А. Проектирование баз данных. Разработка учебного проекта по созданию базы данных и приложения в среде СУБД Access: методические указания / сост. Горбачев В.А. - СПб.: СПбГЛТУ, 2012. - 80 с.
3. Пушкарева Л.Г. Автоматизация учета технических и материальных активов структурных подразделений СПбГЛТУ // Информационные системы и технологии: теория и практика. Сборник трудов конференции, Санкт-Петербург. – СПбГЛТУ, 2018. – С. 28-32.

**РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО РЕШЕНИЯ ДЛЯ  
СРАВНИТЕЛЬНОГО АНАЛИЗА УЧЕБНЫХ ПЛАНОВ С  
ЦЕЛЬЮ ВЫЯВЛЕНИЯ ВОЗМОЖНЫХ ОШИБОК  
НА ЭТАПЕ ИХ ПРОЕКТИРОВАНИЯ**

**DEVELOPMENT OF A SOFTWARE SOLUTION FOR COMPAR-  
ATIVE ANALYSIS OF STUDY PLANS IN ORDER TO IDENTIFY  
POSSIBLE ERRORS AT THE DESIGN STAGE**

*Аннотация.* В данной статье описаны основные методики проведения сравнительного анализа учебных планов с целью поиска возможных расхождений и несоответствий на этапе их проектирования. Для проведения анализа предлагается использование программной среды MS Access, посредством которой осуществляется подключение к удаленной базе данных на сервере и дальнейшая разработка соответствующих форм и запросов.

*Annotation.* This article describes the main methods of conducting a comparative analysis of study plans in order to find possible discrepancies and inconsistencies at the stage of their design. For the analysis, it is proposed to use the MS Access software environment, through which connection to a remote database on the server is carried out and further development of appropriate forms and queries/

**Ключевые слова:** учебные планы, формы, запросы, базы данных, MS Access.

**Keywords:** study plans, forms, queries, databases, MS Access.

## **Введение**

Процесс проектирования учебных планов начинается с анализа требований федеральных государственных образовательных стандартов (ФГОС).

Стандарты ФГОС устанавливают следующий набор основных требований к учебным планам [1]:

- требования к структуре образовательной программы
- требования к сроку получения образования
- требования к объёму образовательной программы
- требования к результатам освоения образовательной программы (компетенции)

Для проектирования учебного плана в СПбГЛТУ в настоящий момент используется специализированное программное обеспечение АС «Учебные планы».

В функции данной программы входит формирование структуры учебного плана с учётом указанных выше требований, внесение списка дисциплин с указанием распределения часов по курсам обучения, распределение компетенций по дисциплинам.

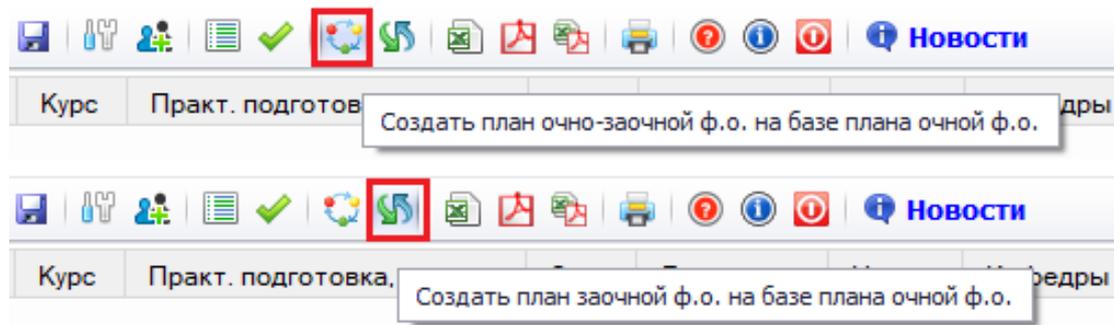
В программе также есть возможность глобальной проверки плана по набору заданных показателей: проверка кратности часов количеству недель, проверка наличия обязательных дисциплин, проверка закрепления компетенций и так далее.

Данное программное обеспечение позволяет спроектировать учебный план в соответствии со всеми требованиями ФГОС.

### Постановка задачи

Встроенная в программу проверка учебного плана даёт возможность анализа данного конкретного плана на соответствие ФГОС, однако зачастую возникает более сложная задача, связанная с проведением сравнительного анализа учебных планов разных форм обучения.

Как правило, планы очно-заочной и заочной форм обучения строятся на базе плана очной формы обучения. В программе АС «Учебные планы» предусмотрена опция для автоматического формирования планов очно-заочной и заочной форм обучения (см. рис. 1).



**Рис. 1.** Опции создания планов очно-заочной и заочной форм обучения на панели инструментов

При автоматическом формировании планов могут появиться ошибки и аномалии следующего характера:

- неправильная или дублирующаяся форма контроля у дисциплин (например, в очном плане у дисциплин зачёт и экзамен, а в заочном – только экзамен)
- неправильный перенос формы проведения занятий у дисциплин (например, в очном плане дисциплина предполагает лекции, лабораторные и практические, а в заочном – только лекции и лабораторные)

- неправильное распределение дисциплины по курсам (например, в очном плане дисциплина читается на третьем курсе, а в заочном – на третьем и четвёртом)

Данный тип ошибок необходимо контролировать самостоятельно, так как в программе не предусматривается наличие универсального механизма проверки и сравнения нескольких планов.

Также зачастую возникает задача анализа произвольных планов, например, поиск различий в разных образовательных программах в рамках одного направления.

В связи с этим предлагается разработать ряд запросов для проведения сравнительного анализа учебных планов.

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 [2].

### **Создание формы и запросов для проведения сравнительного анализа**

При сравнении учебных планов целесообразно выделить следующие критерии:

- поиск различий в формах контроля дисциплин
- поиск различий в формах проведения занятий
- поиск различий в курсовых работах и курсовых проектах
- поиск различий в закреплении компетенций
- поиск различий в закреплении кафедр
- поиск различий в количестве зачётных единиц (ЗЕТ, з.е. – единица измерения трудоёмкости дисциплин, практик и ГИА в учебном плане)
- поиск различий в шифрах дисциплин

Для удобства работы была разработана форма с кнопками, каждая из которых запускает требуемую проверку (см. рисунок 2).

Первая половина формы содержит выпадающий список для выбора текущего учебного года, поле для ввода названия учебного плана и кнопки для запуска запросов [3].

Вторая половина формы служит для сравнения произвольных планов и содержит поля для выбора планов из выпадающих списков. Список названий планов загружаются автоматически при выборе учебного года.

**Рис. 2** Форма для запуска запросов

В качестве примера рассмотрим процесс формирования запроса для поиска различий по формам контроля.

Вся информация об учебных планах хранится в соответствующих таблицах базы данных. Формирование запросов заключается в обращении к таблицам и извлечении из них требуемых данных (см. рис. 3).

Поле:	Имя таблицы:	Групповая операция:	Сортировка:	Вывод на экран:	Условие отбора:
Дисциплина	dbo_ПланыСтроки	Группировка	по возрастанию	<input checked="" type="checkbox"/>	
ИмяФайла	dbo_Планы	Группировка	по возрастанию	<input checked="" type="checkbox"/>	Like "*" + [Forms]![Срав
ekz: Count(IIf([Экзаме				<input checked="" type="checkbox"/>	
zachet: Count(IIf([Зач				<input checked="" type="checkbox"/>	
zachet_s_ocenкой: Co				<input checked="" type="checkbox"/>	
КодФормыОбучения	dbo_Планы	Группировка		<input checked="" type="checkbox"/>	
УчебныйГод	dbo_Планы			<input type="checkbox"/>	[Forms]![СравнениеП

**Рис. 3** Запрос к таблицам базы данных в режиме конструктора

Из рисунка 3 можно заметить, что в качестве условий для полей «УчебныйГод» и «ИмяФайла» указываются ссылки на форму для удобства работы.

Кнопка «Различия в планах (формы контроля)» запускает итоговый перекрёстный запрос, в котором в качестве строк используются названия дисциплин, в качестве столбцов выступают формы обучения (1 – очная форма обучения, 2 - заочная форма обучения, 3 – очно-заочная форма обу-

чения), а значениями служат наименования форм контроля дисциплин (см. рисунок 4).

Дисциплина	1	2
Администрирование в инфокоммуникационных системах	Экзамен	Экзамен
Алгоритмы и структуры данных	Экзамен	Экзамен
Архитектура информационных систем	Экзамен	Экзамен
Аэрокосмические методы в лесном деле	ЗачетСОценкой	ЗачетСОценкой
Базы данных и знаний	Экзамен	Экзамен
Безопасность жизнедеятельности	Экзамен	Экзамен
Беспроводные сенсорные сети	Зачет	Зачет
Бизнес-информатика	Зачет	Зачет
Геоинформатика	Зачет	Зачет
Геоинформационные системы в лесном деле	ЗачетСОценкой	ЗачетСОценкой
Иностранный язык	ЭкзаменЗачетСОценкой	Экзамен

Рис. 4 Результирующий перекрёстный запрос для сравнения по формам контроля

Если у дисциплины предполагается несколько форм контроля, в поле запроса отображается строка с результатом конкатенации всех форм контроля по данной дисциплине.

Дополнительные кнопки «Быстрое сравнение» и «Быстрое сравнение (+оз)» запускают запросы, в которых присутствует дополнительное поле для быстрого анализа различий (см. рис. 5).

Дисциплина	1	2	СравнениеОчнаяЗаочная
Администрирование в инфокоммуникационных системах	Экзамен	Экзамен	РАВНЫ
Алгоритмы и структуры данных	Экзамен	Экзамен	РАВНЫ
Архитектура информационных систем	Экзамен	Экзамен	РАВНЫ
Аэрокосмические методы в лесном деле	ЗачетСОценкой	ЗачетСОценкой	РАВНЫ
Базы данных и знаний	Экзамен	Экзамен	РАВНЫ
Безопасность жизнедеятельности	Экзамен	Экзамен	РАВНЫ
Беспроводные сенсорные сети	Зачет	Зачет	РАВНЫ
Бизнес-информатика	Зачет	Зачет	РАВНЫ
Геоинформатика	Зачет	Зачет	РАВНЫ
Геоинформационные системы в лесном деле	ЗачетСОценкой	ЗачетСОценкой	РАВНЫ
Иностранный язык	ЭкзаменЗачетСОценкой	Экзамен	!!!

Рис. 5 Запрос с выводом дополнительного поля быстрого сравнения

Кнопка «Быстрое сравнение (+оз)» служит для сравнения планов, у которых дополнительно к заочной форме предполагается наличие очно-заочной формы обучения.

Необходимость использования дополнительной кнопки для учёта очно-заочной формы обучения обусловлена особенностью формирования поля с результатом сравнения (см. рисунок б).

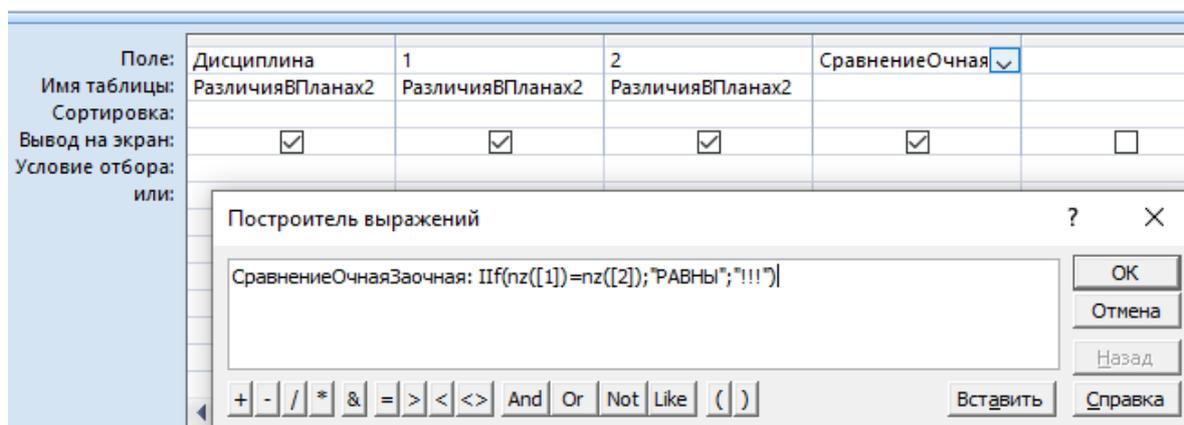


Рис. 6 Запрос для быстрого сравнения в режиме конструктора

Для вычисления значения поля с результатом сравнения используется конструкция  $Iif(nz([1])=nz([2]);"РАВНЫ";"!!!")$ , которая предполагает наличие только двух полей.

Для сравнения планов по трём формам обучения требуется использовать более сложную конструкцию вычисляемого поля:

$Iif((nz([1])=nz([2]))*(nz([2])=nz([3]))*(nz([3])<>"")=Истина;"РАВНЫ";"!!!")$

В таком случае при указании направления, для которого предполагается наличие всех форм обучения, запрос успешно отработает и выведет результат (см. рисунок 7).

Дисциплина	1	2	3	СравнениеОчна
Акустика и шумоизоляция зданий	Зачет	Зачет	Зачет	РАВНЫ
Архитектурно-строительное прое	ЗачетЗачетСОценкой	ЗачетЗачетСОценкой	ЗачетЗачетСОценкой	РАВНЫ
Безопасность жизнедеятельности	Зачет	Зачет	Зачет	РАВНЫ
Высшая математика	Экзамен	Экзамен	Экзамен	РАВНЫ
Градостроительство	ЗачетСОценкой	ЗачетСОценкой	ЗачетСОценкой	РАВНЫ
Железобетонные и каменные кон	ЭкзаменЗачет	Экзамен	ЭкзаменЗачет	!!!
Инженерная графика	Зачет	Зачет	Зачет	РАВНЫ
Инженерная и компьютерная граф	ЭкзаменЗачет	ЭкзаменЗачет	ЭкзаменЗачет	РАВНЫ
Инженерные изыскания в строите	ЗачетСОценкой	ЗачетСОценкой	ЗачетСОценкой	РАВНЫ
Инженерные изыскания в строите	ЗачетСОценкой	ЗачетСОценкой	ЗачетСОценкой	РАВНЫ
Иностранный язык	ЭкзаменЗачетСОценкой	Экзамен	ЭкзаменЗачетСОценкой	!!!

Рис. 7. Запрос для быстрого сравнения планов всех форм обучения

Таким образом, сравнение планов разных форм обучения по формам контроля осуществляется в автоматическом режиме.

Аналогичным образом работают и остальные запросы. Меняется только критерий сравнения при формировании запросов (см. рисунок 8).

2021_РазличияКРиКП(Сравнение)			
Дисциплина	1	2	Сравнение
Инфокоммуникационные системы в сети	КР	КР	РАВНЫ
Схемотехника микроконтроллеров и арх	КП	КП	РАВНЫ

2021_РазличияВКомпетенциях(Сравнение)			
Дисциплина	1	2	Сравнение
Администрирование в инфокоммуникационных системах	ОПК-3.2,ОПК-3	ОПК-3.2,ОПК-3	РАВНЫ
Алгоритмы и структуры данных	ОПК-1.1,ОПК-1	ОПК-1.1,ОПК-1	РАВНЫ

2021_РазличияВКафедрах(Сравнение)			
Дисциплина	1	2	Сравнение
Администрирование в инфокоммуникационных системах		45	45 РАВНЫ
Алгоритмы и структуры данных		45	45 РАВНЫ
Архитектура информационных систем		45	45 РАВНЫ
Аэрокосмические методы в лесном деле		38	38 РАВНЫ
Базы данных и знаний		45	45 РАВНЫ
Безопасность жизнедеятельности		19	19 РАВНЫ
Беспроводные сенсорные сети		45	45 РАВНЫ

Рис. 8. Сравнение планов по различным критериям

Удобство данного подхода заключается в организации быстрого автоматизированного анализа учебных планов и возможности добавления новых запросов по мере необходимости.

Для сравнения произвольных планов используется аналогичный подход с построением перекрёстных запросов на базе классических запросов с группировкой.

В качестве примера рассмотрим сравнение аудиторных часов в двух произвольных учебных планах (см. рис. 9).

План1	B090302-2024.plx
План2	B090302-СТМ-2024.plx

ДисциплинаКод	Дисциплина	B090302-2024_plx	B090302-СТМ-2024_plx
Б1.В.03	Аддитивные технологии		Лек:18 Пр:36
Б1.О.21	Администрирование в инфокоммуникаци	Лек:18 Лаб:36	Лек:18 Лаб:36
Б1.О.12	Алгоритмы и структуры данных	Лек:18 Лаб:36	Лек:18 Лаб:36
Б1.О.15	Архитектура информационных систем	Лек:36 Лаб:36	Лек:36 Лаб:36
Б1.В.14	Аэрокосмические методы в лесном деле	Лек:10 Пр:20	
Б1.В.20	Базы данных и знаний	Лек:36 Пр:36	
Б1.О.04	Безопасность жизнедеятельности	Лек:36 Пр:18 Лаб:18	Лек:36 Пр:18 Лаб:18
Б1.В.ДВ.01.01	Беспроводные сенсорные сети	Лек:10 Лаб:20	
Б1.В.18	Бизнес-информатика	Лек:18 Пр:18	

Рис. 9. Сравнение аудиторных часов в произвольных учебных планах

Здесь в качестве столбцов выступают не формы обучения, а названия учебных планов.

Такая задача особенно актуальна при разработке новой образовательной программы для существующих направлений подготовки. В данном случае необходимо контролировать, что обязательные части учебных планов совпадают.

## **Заключение**

Проектирование учебных планов – трудоёмкий процесс, который сопряжён с большим объёмом работы по анализу соответствия требованиям ФГОС.

Процесс автоматического сравнения учебных планов позволяет существенно упростить их анализ с целью выявления возможных ошибок.

Разработанные формы и запросы позволяют получить сравнительные таблицы по всем требуемым критериям в удобном формате. Также следует отметить возможность дальнейшего расширения функциональных возможностей.

При необходимости результаты запросов можно экспортировать в Excel для последующего анализа и обработки.

## **Библиографический список**

1. Портал федеральных государственных образовательных стандартов высшего образования [Электронный ресурс]. URL: <https://fgosvo.ru> (дата обращения: 28.02.2024)
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. Горбачев В.А. Проектирование баз данных. Разработка учебного проекта по созданию базы данных и приложения в среде СУБД Access: методические указания / сост. Горбачев В.А. - СПб.: СПбГЛТУ, 2012. – 80 с.

**К.А. Мартын**, ассистент кафедры ИСиТ  
Кафедра информационных систем и технологий  
СПбГЛТУ им. Кирова  
martynchris@mail.ru

## **ПОДСЧЕТ КОЛИЧЕСТВЕННЫХ ПАРАМЕТРОВ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ ДЛЯ ОТРАСЛЕЙ ЛЕСНОГО ХОЗЯЙСТВА**

## **CALCULATION OF QUANTITATIVE PARAMETERS BASED ON EARTH REMOTE SENSING DATA FOR FORESTRY INDUSTRIES**

*Аннотация:* применение данных дистанционного зондирования Земли является удобной и оперативной частью работы в лесной сфере и отраслях непосредственно связанных с лесной промышленностью. Однако, полученная с подобного рода источников информация требует предварительной обработки для упрощенной работы с

численными данными. С задачей обработки спутниковых изображений высокого разрешения для дальнейших расчётов может справиться геоинформационная система.

**Ключевые слова:** геоинформационные системы, QGIS, ледовая обстановка, дистанционное зондирование Земли, Sentinel-2.

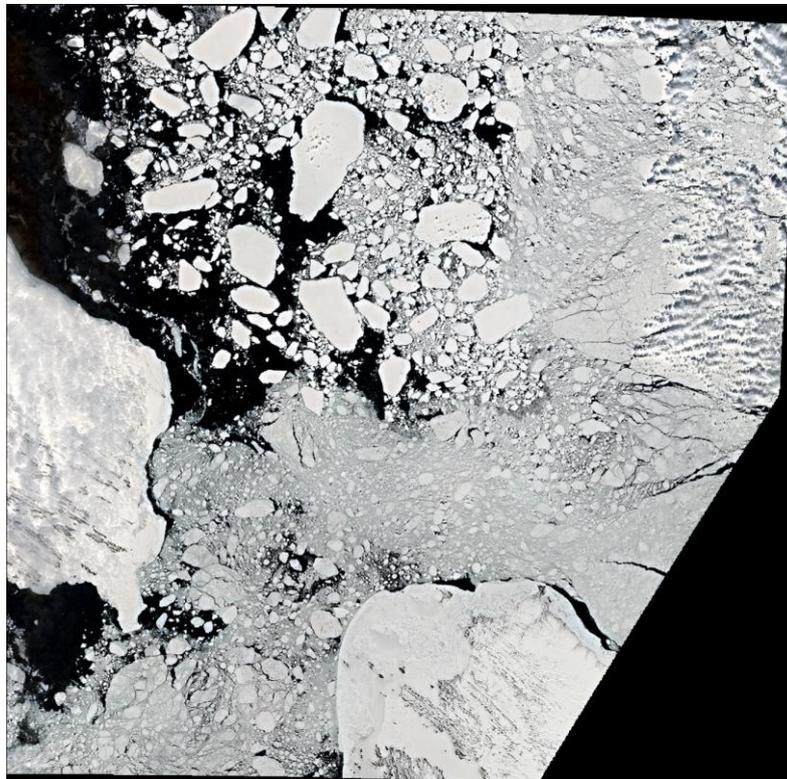
**Keywords:** geoinformation systems, QGIS, ice conditions, remote sensing of the Earth, Sentinel-2

Во всех естественнонаучных отраслях, за которыми наблюдает человек, как для своей экономической выгоды, так и для восстановления состояния окружающей среды, в последние годы прочно вошли методы для работы с данными дистанционного зондирования Земли. Информация, полученная от таких источников, чаще всего представлена в виде изображения, которое имеет хорошее пространственное разрешение. Визуально можно определить базовые характеристики изучаемого объекта. Таким объектом может быть объект суши - леса, сельскохозяйственные угодья, объекты инфраструктуры, так и объекты водной среды - ледовые образования. Для того чтобы произвести более глубокий анализ полученной информации необходимо получить численные данные из спутникового изображения.

Изображения со средств дистанционного зондирования получены за счет синтеза информации с разных спектральных каналов. Чаще всего изображения представлены в видимом спектре, полученных при комбинации 3 каналов - изображение типа RGB. Это приводит к сложностям при выявлении численных характеристик изображения, т.к. изначально изображение необходимо конвертировать, чтобы один пиксель изображения содержал одно численное значение. Можно провести этот процесс преобразования и работы со спутниковым изображением к автоматизации при помощи программного кода. Однако, в некоторых популярных в настоящее время гис-системах, есть разработанные средства для работы с данными дистанционного зондирования Земли [1].

Рассмотрена работа в QGIS с изображениями высокого разрешения, полученными со спутника Sentinel-2. К примеру, большая часть материалов лесной промышленности, транспортируется по водным путям. Так как в России наибольшие лесные площади находятся в северных отдаленных от потребителей регионах, то при транспортировке лесной продукции практически всегда используется морской транспорт. Вывоз из вышеуказанных районов по морю может осуществляться только по одному маршруту - это северный морской путь. В регионе часто наблюдаются сложные ледовые условия, поэтому нужно осуществлять контроль количества ледовых образований, особенно в проливах, чтобы безопасно транспортировать грузы. Ледовая обстановка на участке пролив Карские ворота за 28 апреля наглядно представлена на спутниковом снимке (рисунок 1). Изображение RGB конвертированы в растровое изображение

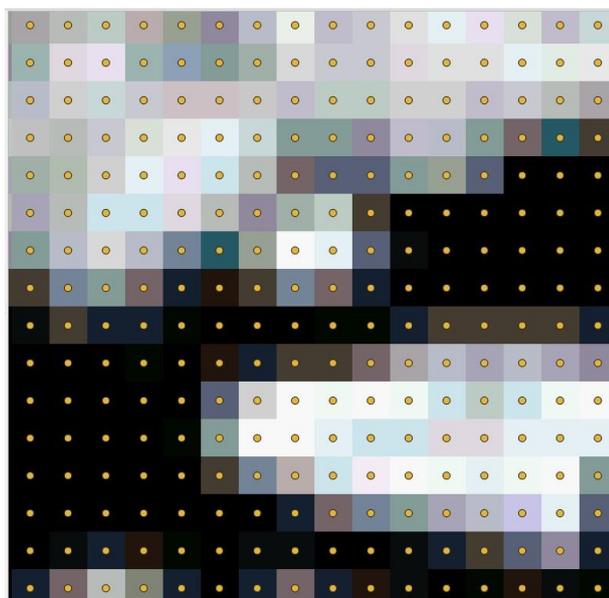
RCT, и дополнительно откорректирована контрастность изображения. Именно оно представлено на рисунке 1, где растровое изображение имеет 64 цветовых значения [1]. Изображение изначально представлено в узком цветовом диапазоне, поэтому разбиение на большее количество цветовых значений не имеет смысла.



**Рис.1.** Растровое изображение со спутника Sentinel-2

Для количественного анализа информации с изображения, представим пиксели в виде точек с определенным значением, соответствующим одному из 64 цветовых значений. С помощью специальных инструментов используемой ГИС изначально классифицируем все точки по значениям, что будет представлено в виде различным цветовых квадратов [2]. Для визуализации полученного результата был выбран небольшой участок спутникового изображения в увеличенном масштабе (рисунок 2).

Изображение имеет информацию о размерах каждого пикселя, после классификации можно рассчитать количество точек определенного цвета, и как итог - определить площадь занятую определенными объектами [2]. Вся необходимая информация формируется в таблицу (рисунок.3), где имеются данные о номере цветового значения, количестве точек данного цвета, площади территории для выбранных точек.



**Рис.2.** Классификация точек участка спутникового изображения по 64 цветовым значениям

	A	B	C
1	VALUE	new_field	Kars
2	53	352943	35294300
3	21	53592	5359200
4	54	8281	828100
5	60	19635	1963500
6	35	36414	3641400
7	48	29761	2976100
8	14	26402	2640200
9	24	25986	2598600

**Рис.3.** Таблица подсчета количества точек по цветовым значениям

Подобную методику работы со спутниковыми изображениями можно использовать в качестве основы для последующих статистических расчетов ледовитости морского пути - определения чистой воды и типов ледяных полей, с дальнейшей прокладкой пути для транспортировки грузовых судов, классификации лесных массивов по породам и других задачах лесной отрасли.

### 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. Quantum GIS. Руководство пользователя. URL: <http://qgis.osgeo.org/documentation/manuals.html> (дата посещения сайта: 18.12.2023).

**Н.В. Меламед**, кандидат технических наук, доцент  
Кафедра информационных систем и технологий  
СПбГЛТУ им. С. М. Кирова  
natali@melamed.su

## МОДИФИКАЦИЯ МЕТОДА МАИ/ДШ ПРИ НЕПОЛНОЙ ИНФОРМАЦИИ О КРИТЕРИЯХ И АЛЬТЕРНАТИВАХ ДЛЯ ДВУХ УРОВНЕЙ КРИТЕРИЕВ

### DS/AHP METHOD WITH PARTIAL INFORMATION ABOUT CRITERIA AND ALTERNATIVES FOR TWO LEVELS OF CRITERIA

***Аннотация:** В статье предлагается расширение метода ДШ/МАИ. При этом учитывается тот факт, что задача многокритериального решения может иметь два уровня критериев. Более того, предполагается, что экспертные заключения относительно критериев являются неточными и неполными. Предлагаемое расширение также использует оценки группы экспертов или лиц, принимающих решения, для сравнения альтернатив решений и критериев.*

***Abstract:** An extension of the DS/AHP method is proposed in the paper. It takes into account the fact that the multi-criteria decision problem might have two levels of criteria. Moreover, it is assumed that expert judgments concerning the criteria are imprecise and incomplete. The proposed extension also uses groups of experts or decision makers for comparing decision alternatives and criteria.*

***Ключевые слова:** Задача многокритериального решения; метод анализа иерархий; теория Демпстер-Шейфера; попарное сравнение; линейное программирование; групповое принятие решений.*

***Keywords:** Multi-criteria decision problem; analytic hierarchy process; DempsterShafer theory; pairwise comparison; linear programming; group decision making.*

#### **Введение**

Одним из наиболее хорошо зарекомендовавших себя и часто используемых методов решения многокритериальной задачи принятия решений является метод анализа иерархии (МАИ), предложенный Саати [21]. В МАИ лицо, принимающее решения (ЛПР), моделирует проблему как иерархию критериев и альтернатив решений лица принимающего решение (ЛПР). После построения иерархии ЛПР оценивает важность каждого элемента на каждом уровне иерархии. Это достигается путем выполнения сравнений в матрицах, где элементы сравниваются друг с другом попарно. Для каждой матрицы парного сравнения ЛПР использует метод вычисле-

ния вектора приоритета, который дает относительные веса элементов на каждом уровне иерархии. После веса на различных уровнях иерархии агрегируются с использованием принципа иерархической композиции для получения окончательного веса для каждой альтернативы.

Несомненным достоинством МАИ является то, что в этом методе есть возможность одновременно учитывать различные виды критериев (количественные и качественные). Поскольку МАИ основан на очень сложных и многочисленных попарных сравнения альтернатив и критериев, то, зачастую, бывает сложно получить нужный индекс согласованности в задачах с большим количеством критериев или альтернатив. Более того, метод использует точные оценки экспертов или ЛПР. Это условие не может быть выполнено достаточно часто, поскольку суждения, полученные от экспертов, обычно являются неточными и неполными из-за ограниченной точности человеческих оценок.

Чтобы преодолеть эти трудности и расширить МАИ на приближенные к реальным методам выявления предпочтений экспертов, Бейнон и др.[2,4] предложили метод с использованием теории Демпстера-Шейфера, который принято называть методом ДШ/МАИ. Этот метод был разработан для проблемы принятия решений с одним ЛПР. В этой модификации МАИ используется для сбора предпочтений ЛПР и для моделирования проблемы в виде иерархического дерева решений. Хороший анализ метода ДШ/МАИ дан Тервоненом и др[26], отметившим, что основная прекрасная идея, лежащая в основе метода ДШ/МАИ, — это сравнение групп альтернатив с целым набором альтернатив. Этот тип сравнения может рассматриваться как эквивалент предпочтениям ЛПР.

Метод ДШ/МАИ имеет множество преимуществ в сравнении с МАИ. Однако он не позволяет работать с неполными и неточными оценками ЛПР. Проблема усложняется, когда число уровней критериев равно двум или больше.

Следует отметить, что к настоящему времени разработано множество методов и подходов, позволяющих решать многокритериальные задачи принятия решений в условиях неопределенности и моделировать информацию о предпочтениях, которая в реальных ситуациях обычно является неточной и неполной. Приведем в качестве примеров некоторые из них. В своей новаторской работе Вебер [31] предлагает общую основу для принятия решений с неполной информацией, где неполная информация о состояниях природы и полезности формализуется с помощью вероятностных интервалов и линейных неравенств соответственно, и задача сводится к решению задач линейного программирования. Дэниелсон и др.[5], а также Экенберг и Торбиоернсон [9] предложили класс моделей неопределенности второго порядка, применяемые для принятия решений в условиях неполной информации. Интересная робастная модель классификации для прогнозирования дефектов программного обеспечения в рамках МАИ была предложена Пенгом и др.[2].

Один из подходов к представлению различных типов неточностей состоит в рассмотрении набора весов критерия, полученного на основе возможных суждений, предоставленных экспертами или ЛПР [15,16,26]. В частности, экспертные суждения в виде коэффициентов предпочтений были изучены Сало и Хамалайненом [22]. Интересный метод анализа неполной информации о предпочтениях в иерархических весовых моделях принятия многокритериальных решений, приводящих к возможно невыпуклым наборам допустимых атрибутов веса были предложены Сало и Панккой [23]. Пак и Ким [19] формализовали различные виды суждений или утверждений посредством ряда линейных неравенств для весов критериев. В силу линейности эти неравенства образуют выпуклый многогранник векторов весов, что дает возможность использовать линейное программирование для вычисления меры ранжирования альтернатив.

Чтобы смоделировать неточность суждений, МАИ был модифицирован многими авторами путем замены точных элементов матриц сравнения интервальными или нечеткими элементами. [7,8,11,12,14,17,30]. При этом нечеткие матрицы сравнения часто преобразуются в матрицы сравнения интервалов с использованием наборов  $\alpha$ -уровня. Этот подход является очень полезным и важным расширением метода МАИ. Однако он требует введения дополнительных предположений относительно соответствующих функций принадлежности. Более того, большинство процедур выявления предпочтений основаны на стандартных парных сравнениях, имеющих недостатки.

Учитывая вышеизложенное, предлагается модификация метода ДШ/МАИ, которая позволяет преодолеть указанные выше трудности. Предлагаемый метод также использует оценки группы экспертов или лиц, принимающих решения, для сравнения альтернатив и критериев. Он использует тот факт, что меры доверия и правдоподобия в рамках теории Демпстера-Шейфера можно рассматривать как нижнюю и верхнюю границы вероятности события, а вычислительная процедура, реализующая предлагаемую модификацию, сводится к ряду достаточно простых задач линейного программирования.

### **Теория свидетельств (Демпстера-Шейфера)**

Классическая модель, рассматриваемая в теории вероятностей и математической статистике, предполагает, что исходами эксперимента являются элементарные события. Однако, как показал Демпстер [6], когда анализируемые данные неполны, неточны и противоречивы, целесообразно использовать другую модель, в которой в качестве исходов эксперимента могут быть произвольные события из пространства элементарных событий.

Пусть  $U$  - некоторое множество, которое в теории свидетельств называется фреймом различений. Предположим, что  $N$  наблюдений или измерений элемента  $u \in U$  было получено в качестве информации об объекте, принимающем значения из  $U$ . При этом предполагается, что результат из-

мерений или наблюдений является неточным, т.е. представляет из себя некоторый интервал (подмножество)  $A$  значений  $U$ . Пусть  $c_i$  - количество наблюдаемых подмножеств  $A_i \subseteq U$  и  $Po(U)$  - множество всех подмножеств  $U$ . Частотная функция  $m$ , называемая базовой вероятностью, определяется как:

$$m: Po(U) \rightarrow [0,1], m(\emptyset) = 1, \sum_{A \in Po(U)} m(A) = 1$$

Заметим, что область определения базовых вероятностей  $Po(U)$  отличается от области определения  $U$  функции распределения вероятностей. Согласно [1], базовая вероятность может быть получена следующим образом:

$$m(A_i) = c_i/N \quad (1)$$

Если  $m(A_i) > 0$ , т.е. подмножество  $A_i$ , как результат измерения или наблюдения, было получено хотя бы один раз, то  $A_i$  называется фокальным элементом.

Согласно [1], функция доверия, обозначаемая  $Bel(A)$ , и функция правдоподобия, обозначаемая  $Pl(A)$ , события  $A \subseteq Po(U)$  определяются как:

$$Bel(A) = \sum_{A_i: A_i \subseteq A} m(A_i), \quad Pl(A) = \sum_{A_i: A_i \cap A = \emptyset} m(A_i) \quad (2)$$

Как показано в работах [10], функция доверия может быть формально определена как функция, удовлетворяющая аксиомам, являющимся ослабленным вариантом аксиом Колмогорова, характеризующих вероятность. Поэтому в некоторых случаях имеет смысл рассматривать функцию доверия (правдоподобия) как обобщенную вероятность, а доверие и правдоподобие как нижнюю и верхнюю вероятности события  $A$ , т.е.

$$Bel(A) \leq Pr(A) \leq Pl(A)$$

Пусть  $p_i$  — некоторая неизвестная вероятность  $i$ -го элемента универсального множества  $U = \{u_1, \dots, u_m\}$ . Тогда распределение вероятностей  $p = (p_1, \dots, p_m)$  удовлетворяет следующему неравенству для всех фокальных элементов  $A$ :

$$Bel(A) \leq \sum_{i: u_i \in A} p_i \leq Pl(A)$$

### Сущность модификации МАИ Бейнона

Рассмотрим этот метод на примере задачи выбора вида транспорта. Перед лицом принимающим решение стоит задача выбора одного из видов транспорта (альтернатив): железнодорожный ( $A_1$ ), автомобильный ( $A_2$ ) или водный ( $A_3$ ). Критериями являются: надежность поставок ( $C_1$ ) и стоимость перевозки ( $C_2$ ).

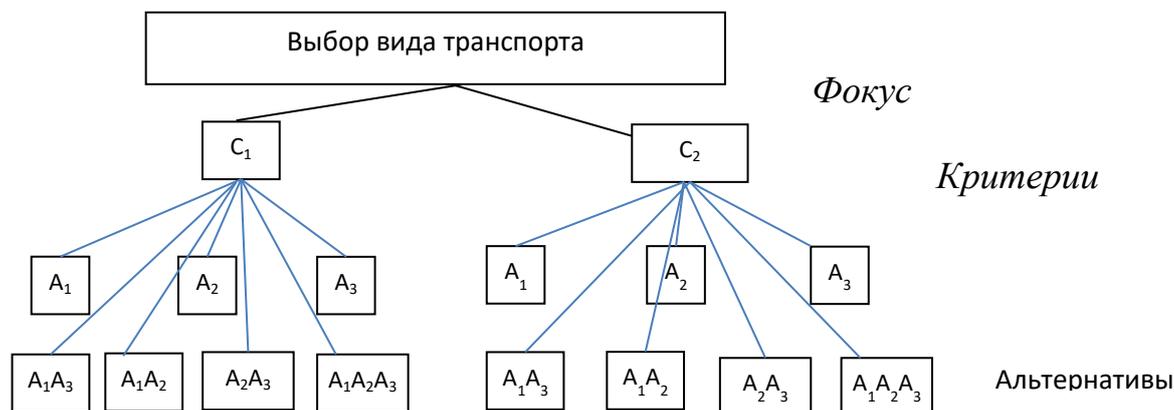


Рис. 1. Иерархическая структура задачи выбора вида транспорта

Что вызывает основные затруднения у экспертов при использовании стандартного МАИ? Эксперт зачастую затрудняется делать парные сравнения отдельных альтернатив. Например, по критерию  $C_1$  он может только сказать, что альтернатива  $A_1$  предпочтительнее всех остальных (сравнение альтернатив  $A_1, A_2, A_3$  по отдельности вызывает затруднения).

Для того чтобы обойти эти сложности М. Бейнон предложил подход, который заключается в том, что вместо сравнения отдельных альтернатив между собой эксперту предлагается:

- сформировать из альтернатив  $A_i, i = \overline{1, n}$  множество мощности  $Po(\Theta)$ ;
- по каждому из критериев  $C_j, j = \overline{1, k}$  выделить из множества мощности  $Po(\Theta)$  альтернативы или группы альтернатив;
- сравнить каждую из выделенных экспертом альтернатив (групп альтернатив) с универсальным множеством  $\Theta = \{A_1, A_2, \dots, A_n\}$ . Результат сводится в квадратную обратносимметричную матрицу сравнения альтернатив (групп альтернатив). На главной диагонали матрицы ставятся 1, свидетельствующие, что элемент сравнивается с самим собой. После выделения альтернатив (групп альтернатив) из множества мощности отпадает необходимость в парном сравнении, поскольку каждая из альтернатив (групп альтернатив) сравнивается с  $\Theta$ . Таким образом, решается проблема несогласованности (обусловленная отсутствием транзитивности), характерная для матриц парных сравнений МАИ. На пересечении элементов матрицы, не подлежащих сравнению, ставятся нули. Шкала, по которой эксперт производит оценки, подобна шкале МАИ, но с меньшим количеством градаций (5 градаций). Так чрезвычайной значимости соответствует 6, сильной значимости – 4, умеренной значимости – 2, 5 и 3 занимают промежуточные значения между 6 и 4, 4 и 2 соответственно. Количество сравнений определяется числом выделенных экспертом альтернатив (групп альтернатив). Например, если по некоторому критерию выделено  $m$  групп, включая  $\{A_1, A_2, \dots, A_n\}$ , то число сравнений равно  $(m - 1)$ . Факти-

чески эксперту необходимо проранжировать выделенные альтернативы (группы альтернатив).

В приведенном выше примере имеются 3 альтернативы,  $\Theta = \{A_1, A_2, A_3\}$ . Поэтому число элементов множества мощности  $Po(\Theta)$  равно  $2^3=8$ .

$$Po(\Theta) = \{A_1, A_2, A_3, A_{12}, A_{13}, A_{23}, A_{123}, \emptyset\}$$

Предположим, что для критерия  $C_1$  эксперт выделил альтернативу  $A_1$ , тем самым автоматически исключив для себя возможность выбора групп множества мощности, в которых она присутствует. Эту альтернативу  $A_1$  эксперт будет сравнивать с универсальным множеством  $\Theta = \{A_1, A_2, A_3\}$ . Кроме того, по этому критерию эксперт также может предоставить информацию о группе альтернатив  $\{A_2, A_3\}$ . Матрицы сравнения альтернатив по критериям  $C_1$  и  $C_2$  представлены в табл. 1 и табл.2 соответственно.

Таблица 1.

**Матрица сравнения альтернатив по критерию срок доставки груза**

$C_1$	$\{A_1\}$	$\{A_2, A_3\}$	$\{A_1, A_2, A_3\}$
$\{A_1\}$		0	4
$\{A_2, A_3\}$		1	6
$\{A_1, A_2, A_3\}$	1/4	1/6	1

Таблица 2

**Матрица сравнения альтернатив по критерию срок доставки груза**

$C_2$	$\{A_2\}$	$\{A_1, A_2, A_3\}$
$\{A_2\}$		1/2
$\{A_1, A_2, A_3\}$		1

Как и в МАИ относительный вес (вероятность) каждого отдельного критерия ( $p_i$ ) предлагается находить через анализ матриц парных сравнений путем вычисления множества собственных векторов с последующей их нормализацией так, чтобы сумма значений всех элементов вектора собственных чисел была бы равна единице. Парные сравнения проводятся в терминах доминирования одного критерия над другим. В табл. 3. показаны парные сравнения критериев.

Таблица 3

**Парные сравнения критериев**

фокус	$C_1$	$C_2$
$C_1$	1	6
$C_2$	1/6	1

Далее Бейнон отходит от МАИ и не производит иерархический синтез, рассматривая в дальнейшем критерии как источники информации об объекте. Предварительно необходимо вычислить значимость альтернатив (групп альтернатив) через веса критериев. Так, если  $p_i$  – относительный вес

критерия, а  $x_{ij}$  - оценка эксперта в матрице альтернатив (групп альтернатив), то значимость альтернативы (группы альтернатив) с учетом относительного веса критерия может быть вычислена как:

$$\begin{cases} \text{если } x_{ij} > 1, \text{ то } p_{ij}x_{ij} \\ \text{если } x_{ij} < 1, \text{ то } \frac{1}{p_{ij}}x_{ij} \\ \text{если } x_{ij} = 1, \text{ то } 1 \\ \text{если } x_{ij} = 0, \text{ то } 0 \end{cases}$$

В результате мы получаем:

$$m_1(\{A_1\}|\{C_1\}) = 0.398, \quad m_1(\{A_2, A_3\}|\{C_1\}) = 0.457, \quad m_1(\mathbb{A}|\{C_2\}) = 0.145$$

$$m_2(\{A_2\}|\{C_2\}) = 0.56, \quad m_2(\mathbb{A}|\{C_2\}) = 0.44$$

Рассматривая критерии как независимые источники данных, Бейнон далее использует правило комбинирования Демпстера. Для краткости мы не будем представлять здесь все результаты вычислений.

### Модификация МАИ при неполной информации о критериях и альтернативах

Особенностью предлагаемого подхода является идея рассматривать не только отдельные элементы, но и их группы (подмножества), а также освободить эксперта от необходимости выполнения какого-либо сравнения элементов между собой на всех уровнях иерархии, заменив процесс сравнения выделением самого предпочтительного элемента.

Изобразим модель выбора вида транспорта в виде иерархии, учитывая возможность «неточных» предпочтений экспертов на уровне критериев и альтернатив (рисунок 2) и опишем соответствующую ей схему опроса.

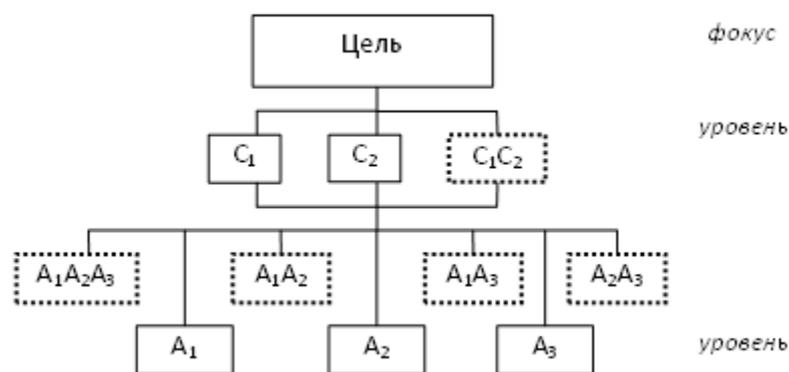


Рис. 2. Расширенная иерархическая структура

Мы снова предполагаем, что  $\mathbb{A} = \{A_1, \dots, A_n\}$  - множество альтернатив, состоящее из  $n$  элементов,  $Po(\mathbb{A})$  - множество мощности альтернатив, элементами которого являются всевозможные сочетания альтернатив  $B_k \subseteq \mathbb{A}$  универсального множества альтернатив  $\mathbb{A}$ ,  $Po(\mathbb{A}) = \{B_1, B_2, \dots, B_l\}$ ,  $l = 2^n - 1$  (пустое множество исключаем из рассмотрения);  $\mathbb{C} = \{C_1, C_2, \dots, C_r\}$  - множество критериев, состоящее из  $r$  элементов;  $Po(\mathbb{C})$  -

множество мощности критериев, элементами которого являются всевозможные сочетания критериев универсального множества  $\mathbb{C}$ ,  $Po(\mathbb{C}) = \{C^{(1)}, \dots, C^{(k)}\}$  - множество всех подмножеств критериев длины  $k$ ,  $D_i \subseteq \mathbb{C}$

В соответствии с введенными обозначениями суждения эксперта можно представить в виде предпочтений  $B_k \succcurlyeq \mathbb{A}$ , т.е. эксперт выбирает подмножество  $B_k$  из множества мощности альтернатив. Предпочтение  $\mathbb{A} \succcurlyeq \mathbb{A}$  означает, что эксперт испытывает трудности при высказывании предпочтений.

Поэтому процедуру опроса экспертов предлагается проводить в виде  $n$ -уровневой схемы (для рассматриваемого примера 2-х уровневая схема).

На *первом этапе* схемы опроса каждый из экспертов выделяет то подмножество критериев, которое на его взгляд является наиболее предпочтительным по сравнению со всем множеством критериев.

$$\begin{cases} c_{ni}^{(k)} = 1, \text{ если } n - \text{м эксперт выделил подмножество } C_i^{(k)}, \text{ т.е. } C_i^{(k)} \succ C \\ c_{ni}^{(k)} = 0, \text{ в противном случае} \end{cases}$$

Например, если эксперт выделил отдельный критерий  $C_1$ , то это означает, что из всего множества критериев  $\mathbb{C}$  критерий  $C_1$  является наиболее предпочтительным, т.е.  $C_1 \succcurlyeq \mathbb{C}$ . Выбор экспертом пары критериев  $\{C_1, C_2\}$  означает, что этот эксперт не может определить наиболее предпочтительный критерий из  $C_1$  и  $C_2$  - оба критерия являются наиболее важными.

После опроса всех  $N_c$  экспертов подсчитывается число появления выделенных подмножеств.

$$c_i^{(k)} = \sum_{n=1}^{N_c} c_{ni}^{(k)}$$

Далее, опираясь на математический аппарат теории Демпстера-Шейфера, подсчитываем базовые вероятности элементов  $m(D_i) = c_i/N_c$  для всех фокальных элементов  $D_i \subseteq \mathbb{C}$ ,

$$N_c = \sum_{i=1}^{2^r-1} c_i^{(k)}$$

Оценки экспертов и вычисленные базовые вероятности элементов представлены в табл.4

Таблица 4

**Неточные оценки экспертов по уровню критериев**

фокус	$\{C_1\}$	$\{C_2\}$	$\{C_1 C_2\}$
подмножества	$D_1$	$D_2$	$D_3$
$c_k$	6	4	5
$m(D_k)$	6/15	4/15	5/15

На *втором этапе* эксперт в соответствии с заданным критерием  $C_j$ , выделяет некоторое подмножество  $B_i \subseteq \mathbb{A}$  как наиболее предпочтительное среди всего множества альтернатив  $\mathbb{A}$ .

После того как все эксперты выскажут свои предпочтения мы получим набор целых чисел  $a_1^{(j)}, a_2^{(j)}, \dots, a_l^{(j)}$  соответствующий количеству экспертов, предоставивших суждения в виде подмножеств  $B_1, \dots, B_l$ . Эта процедура повторяется  $r$  раз для всех  $j = 1, \dots, r$ , т.е. для всех критериев из множества  $\mathbb{C}$ . Если обозначить  $N_A^{(j)}$  - суммарное количество оценок альтернатив (групп альтернатив) по  $j$ -му критерию, то условные базовые вероятности альтернатив в соответствии с критерием могут быть вычислены следующим образом:

$$m(B_i|C_j) = \frac{a_i^{(j)}}{N_A^{(j)}}, N_A^{(j)} = \sum_{i=1}^{2^n-1} a_i^{(j)}$$

Оценки экспертов по подмножествам альтернатив в соответствии с критериями представлены в таблице 5

Таблица 5

**Оценки экспертов по подмножествам альтернатив в соответствии с критериями**

	$\{A_1\}$	$\{A_2\}$	$\{A_3\}$	$\{A_1A_2\}$	$\{A_1A_3\}$	$\{A_2A_3\}$	$\{A_1A_2A_3\}$
	$B_1$	$B_2$	$B_3$	$B_4$	$B_5$	$B_6$	$B_7$
$a_i^{(1)}$	5	2	3	4	0	0	1
$a_i^{(2)}$	3	1	2	3	3	1	2
$m(B_i C_1)$	5/15	2/15	3/15	4/15	0	0	1/15
$m(B_i C_2)$	3/15	1/15	2/15	3/15	3/15	1/15	2/15

### Обработка и агрегирование неполной информации

Способ агрегирования и обработки приведенной выше неполной информации в полном объёме зависит от критерия принятия решения. Грубо говоря, значительная часть методов принятия решений построены на агрегировании различных локальных критериев из набора  $\mathbb{C}$  в функцию, называемую глобальным критерием, которую необходимо максимизировать. Согласно этим методам глобальные критерии по конечному множеству  $\mathbb{A}$  множества альтернатив можно представить следующим образом:

$$F(\mathbf{w}, \mathbf{u}_k) \rightarrow \max_{\mathbb{A}} \quad (3)$$

Здесь  $\mathbf{w} = (w_1, \dots, w_r)$  – вектор весов или важности критериев;

$\mathbf{u}_k = (u_{1k}, \dots, u_{rk}), k = 1, \dots, n$  – вектор весов или полезностей  $k$ -х альтернатив по каждому из критериев  $\{C_1, \dots, C_r\}$ ;

$F$  – некая функция, позволяющая нам объединить веса критериев и альтернатив, чтобы получить синтезированные оценки.

$$F(\mathbf{w}, \mathbf{u}_k) = \sum_{i=1}^r (w_i \cdot u_{ik}) \quad (4)$$

Очевидно, что имея лишь частичную информацию о  $\mathbf{w}$  и  $\mathbf{u}_k$ , мы можем получить лишь частичную информацию о  $F$ . Предположим, что векторы  $\mathbf{w}$  и  $\mathbf{u}_k$  принимают значения из множеств  $\mathcal{W}$  и  $\mathcal{U}_k$  соответственно. Здесь  $\mathcal{U}_k = \mathcal{U}_{1k} \times \dots \times \mathcal{U}_{rk}$  – Декартово произведение  $r$  интервалов  $\mathcal{U}_{ik}$ . Затем, учитывая, что  $\mathbf{w} \in \mathcal{W}$  и  $\mathbf{u}_k \in \mathcal{U}_k$ , можно сказать, что функция  $F$  принадлежит некоторому интервалу или множеству интервалов  $\mathcal{F}$ . Более того, все элементы  $\mathcal{F}$  эквивалентны в том смысле, что мы не можем вы-

брать более предпочтительный элемент или подмножество элементов из множества, поскольку все элементы из  $\mathcal{W}$  и  $\mathcal{U}_k$  эквивалентны в том же смысле/

Предположим, что каждое ограничение для  $\mathbf{w}$  линейно. Тогда множество  $\mathcal{W}$  выпукло. Учитывая, что множество  $\mathcal{W}$  выпукло и Декартово произведение  $\mathcal{U}_k$ , мы можем обобщить, что  $\mathcal{F}$  является выпуклым интервалом и, следовательно, имеет нижнюю  $\underline{F}$  и верхнюю  $\overline{F}$  границы.

Зафиксируем вектор  $\mathbf{u}_k \in \mathcal{U}_k$ . Так как  $\mathcal{W}$  выпукло, то существуют некоторые нижние  $\underline{F}(\mathbf{u}_k)$  и верхние границы  $\overline{F}(\mathbf{u}_k)$  фиксированные вектором  $\mathbf{u}_k$ . Функция  $F(\mathbf{u}_k)$  не убывает при каждом  $u_{ik}$ ,  $i = 1, \dots, r$  поскольку  $w_i \geq 0$ . Это означает, что нижняя граница  $\underline{F}(\mathbf{u}_k)$  достигается в точке  $u_{ik} = \inf \mathcal{U}_{ik}$ , а верхняя граница  $\overline{F}(\mathbf{u}_k)$  достигается в точке  $u_{ik} = \sup \mathcal{U}_{ik}$ . Наконец, мы можем заключить, что нижняя граница  $F(\mathbf{w}, \mathbf{u}_k)$  над множеством  $\mathcal{W} \times \mathcal{U}_k$  это  $\underline{F}(\mathbf{u}_k)$ , а верхняя граница - это  $\overline{F}(\overline{\mathbf{u}}_k)$ . Здесь  $\underline{\mathbf{u}}_k$  и  $\overline{\mathbf{u}}_k$  - векторы с элементами  $\inf \mathcal{U}_{ik}$  и  $\sup \mathcal{U}_{ik}$  соответственно.

Следующий вопрос состоит в том, как изменить глобальный критерий в (3), когда у нас есть набор возможных функций  $F$ . Предположим, что  $w_i$  и  $u_{ik}$  принадлежат замкнутым интервалам для всех  $i = 1, \dots, r$  и  $k = 1, \dots, n$ . Тогда функция  $F$  также принадлежит отрезку. Тогда выбор «лучшей» альтернативы может быть основан на сравнении интервалов  $F$ . Существует множество методов сравнения. В данной модификации предлагается использовать наиболее оправданный метод, основанный на так называемом параметре осторожности или параметре пессимизма-оптимизма  $\eta \in [0,1]$ , который имеет то же значение, что и параметр оптимизма в критерии Гурвица. Согласно этому методу, лучшим из всех возможных следует выбирать так, чтобы выпуклая комбинация  $\eta \cdot \inf F + (1 - \eta) \cdot \sup F$  достигала своего максимума. Если  $\eta = 1$ , то мы анализируем только нижние оценки  $F$  и принимаем пессимистическое решение (Этот тип решения очень часто используется). Если  $\eta = 0$ , то мы анализируем только верхние оценки  $F$  и принимаем оптимистическое решение.

Поэтому следующими проблемами являются:

- как найти  $\mathbf{w}$  и  $\mathbf{u}_k$ ?
- как интерпретировать  $\mathbf{w}$  и  $\mathbf{u}_k$ ? как доказать, что  $\mathbf{w}$  и  $\mathbf{u}_k$  принадлежат замкнутым интервалам?
- Как вычислить нижнюю и верхнюю границы для функций  $F$  из  $\mathcal{F}$ ?

Эти проблемы возникают из-за того, что мы не обладаем полной информацией о весах критериев и альтернатив. Для решения вышеизложенных проблем можно предложить следующий подход.

Зная базовые вероятностей подмножеств  $D_k$  и функции доверия и правдоподобия

$$Bel(D_k) = \sum_{i: D_i \subseteq D_k} m(D_i)$$

$$Pl(D_k) = \sum_{i: D_i \cap D_k \neq \emptyset} m(D_i), k = 1, \dots, 2^r - 1$$

С другой стороны, предположим, что  $j$ -й критерий выбран экспертами с некоторой неизвестной вероятностью  $p_j$  такой, что условие  $\sum_{j=1}^r p_j = 1$  выполнено. Тогда вероятности критериев удовлетворяют следующей системе неравенств:

$$Bel(D_k) \leq \sum_{j:C_j \in D_k} p_j \leq Pl(D_k), k = 1, \dots, 2^r - 1 \quad (5)$$

Здесь  $p_i$  можно рассматривать как вес  $w_j$   $j$ -го критерия,  $j = 1, \dots, r$ .

Рассматривая функции доверия и правдоподобия как нижнюю и верхнюю вероятности соответственно, мы можем сказать, что набор неравенств (5) создает набор  $\mathcal{P}$  возможных распределений  $p = (p_1, \dots, p_r)$ , удовлетворяющий всем этим неравенствам. Зафиксируем распределение  $p$  из  $\mathcal{P}$ . Тогда, применив теорему о полной вероятности, мы можем записать комбинированную базовую вероятность подмножества  $B_k$  следующим образом:

$$m_p(B_k) = \sum_{j=1}^r m(B_k|C_j) \cdot p_j, \quad p \in \mathcal{P}$$

Фактически мы применяем здесь линейную функцию весов  $p = (p_1, \dots, p_r)$  локальных критериев  $C_1, \dots, C_r$ . Условные базовые вероятности  $m(B_k|C_j)$  можно рассматривать как вес  $u_{jk}$  или сумму весов  $k$ -ой альтернативы по  $j$ -му критерию.

Следует отметить, что полученные базовые вероятности зависят от распределения вероятностей  $p \in \mathcal{P}$ . Следовательно, функции доверия и правдоподобия  $B_k B_k$  также зависят от фиксированного распределения вероятностей  $p \in \mathcal{P}$  и равны:

$$\begin{aligned} Bel_p(B_k) &= \sum_{i:B_i \subseteq B_k} m_p(B_i) = \sum_{j=1}^r p_j \cdot \left( \sum_{i:B_i \subseteq B_k} m(B_i|C_j) \right) \\ Pl_p(B_k) &= \sum_{i:B_i \cap B_k \neq \emptyset} m_p(B_i) = \sum_{j=1}^r p_j \cdot \left( \sum_{i:B_i \cap B_k \neq \emptyset} m(B_i|C_j) \right) \end{aligned}$$

Полученные функции доверия и правдоподобия линейно зависят от  $p$ . Следовательно, мы можем найти нижнюю функцию доверия и верхнюю функцию правдоподобия, решив следующие задачи линейного программирования:

$$\begin{aligned} Bel_p(B_k) &= \inf_{p \in \mathcal{P}} Bel_p(B_k) = \inf_{p \in \mathcal{P}} \sum_{j=1}^r p_j \cdot \left( \sum_{i:B_i \subseteq B_k} m(B_i|C_j) \right) \\ Pl_p(B_k) &= \sup_{p \in \mathcal{P}} Pl_p(B_k) = \sup_{p \in \mathcal{P}} \sum_{j=1}^r p_j \cdot \left( \sum_{i:B_i \cap B_k \neq \emptyset} m(B_i|C_j) \right) \end{aligned}$$

При условии  $\sum_{j=1}^r p_j = 1$  и (5)

Здесь следует отметить, что нижняя функция доверия является нижней оценкой  $F$  в (4), а верхняя функция правдоподобия — верхней оценкой  $F$  в (4).

Когда у нас вообще нет информации о критериях, то множество ограничений рассмотренных выше задач линейного программирования сводится к одному ограничению  $\sum_{j=1}^r p_j = 1$ . Заметим, что оптимальные решения задачи линейного программирования можно найти в одной из крайних точек выпуклых множеств  $\mathcal{P}$  распределений, порождаемых линейными ограничениями. Поскольку у нас остается только одно ограничение, образующее единичный симплекс, то его крайние точки имеют вид

$$(1, 0, \dots, 0), (0, 1, \dots, 0), \dots, (0, 0, \dots, 1)$$

Следовательно, оптимальные функции доверия и правдоподобия можно вычислить следующим образом:

$$Bel(B_k) = \min_{j=1, \dots, r} \sum_{i: B_i \subseteq B_k} m(B_i | C_j) \quad (6)$$

$$Pl(B_k) = \max_{j=1, \dots, r} \sum_{i: B_i \cap B_k \neq \emptyset} m(B_i | C_j) \quad (7)$$

Интересно отметить, что функция доверия оптимального подмножества альтернатив в случае предварительного незнания критериев вычисляется с использованием техники «максимина», т. е. мы сначала вычисляем наименьшую «комбинированную» функцию доверия каждого подмножества альтернатив по всем критериям. в соответствии с (6). Затем вычисляем наибольшую функцию доверия среди полученных «комбинированных» функций доверия. Функция правдоподобия оптимального подмножества вычисляется с использованием метода «максимакс» в соответствии с (7).

Имея функции доверия и правдоподобия всех подмножеств  $B_k$ ,  $k = 1, \dots, 2^n - 1$  мы можем определить лучшее подмножество. Выбор «лучшего» подмножества основан на сравнении интервалов, порождаемых функциями доверия и правдоподобия, с параметром пессимизма  $\eta \in [0, 1]$ . Лучшее подмножество из всех возможных следует выбирать таким образом, чтобы выпуклая комбинация  $\eta \cdot Bel(B) + (1 - \eta) \cdot Pl(B)$  достигла своего максимума.

Вернёмся к примеру и найдём функции доверия и правдоподобия подмножеств  $D_1, D_2, D_3$ .

$$Bel(D_1) = m(D_1) = 6/15, Pl(D_1) = m(D_1) + m(D_3) = 11/15$$

$$Bel(D_2) = m(D_2) = 4/15, Pl(D_2) = m(D_2) + m(D_3) = 9/15$$

$$Bel(D_3) = Pl(D_3) = 1$$

Далее вычислим функции доверия и правдоподобия альтернатив  $A_1, A_2, A_3$ . Задача линейного программирования для вычисления функции доверия альтернативы  $A_1$  имеет вид:

$$Bel(A_1) = \inf_{p \in \mathcal{P}} (p_1 \cdot m(A_1 | C_1) + p_2 \cdot m(A_1 | C_2)) = \inf_{p \in \mathcal{P}} (p_1 \cdot \frac{5}{15} + p_2 \cdot \frac{3}{15})$$

$$\text{При условии } p_1 + p_2 = 1$$

$$6/15 \leq p_1 \leq 11/15, \quad 4/15 \leq p_2 \leq 9/15$$

Оптимальным решением является  $p_1 = 2/5$ ,  $p_2 = 3/5$ . Следовательно,  $Pl(A_1) = 0.707$ . Функции доверия и правдоподобия других альтернатив могут быть вычислены таким же образом:  $Bel(A_2) = 0.093$ ,  $Pl(A_2) = 0.467$ ,  $Bel(A_3) = 0.16$ ,  $Pl(A_3) = 0.427$ . Из результатов видно, что первая альтернатива оптимальна в силу неравенств  $Bel(A_1) \geq Bel(A_3) \geq Bel(A_2)$

и  $Pl(A_1) \geq Pl(A_2) \geq Pl(A_3)$ . Если бы у нас не было информации о важности критериев, то

$$Bel(A_1) = 3/15, Pl(A_1) = 11/15$$

$$Bel(A_2) = 1/15, Pl(A_2) = 7/15$$

$$Bel(A_3) = 2/15, Pl(A_3) = 8/15$$

### Модификация метода

Рассмотрим случай, когда имеется два уровня критериев. Первый (высший) уровень содержит  $t$  критериев из множества  $\mathbb{C} = \{C_1, \dots, C_t\}$ . Каждый критерий первого уровня имеет номер  $k_1$ , где  $k_1 = 1, \dots, t$ . Для критерия первого уровня с номером  $k_1$  имеется  $r$  критериев из множества  $\mathbb{C}_2(k_1) = \{C_1(k_1), \dots, C_r(k_1)\}$  второго уровня. Каждый критерий второго уровня имеет номер  $(k_1, k_2)$ . Например, третий критерий второго уровня по отношению ко второму критерию первого уровня имеет номер  $(2,3)$ . Эксперты выбирают подмножества  $D_i \subseteq \mathbb{C}$  из множества  $\mathbb{C}$  как предпочтительные группы критериев первого уровня. Эксперты также выбирают некоторые подмножества  $D_k(k_1) \subseteq \mathbb{C}_2(k_1)$  как благоприятные группы критериев второго уровня по отношению к критерию первого уровня, имеющему номер  $k_1$ .

Предположим, что  $k$ -ый критерий на первом уровне выбран экспертами с некоторой неизвестной вероятностью  $q_k$  такой, что условие  $\sum_{k=1}^t q_k = 1$  выполняется. Тогда вероятности критериев удовлетворяют следующей системе неравенств:

$$Bel(D_k) \leq \sum_{j: C_j \in D_k} q_j \leq Pl(D_k), k = 1, \dots, 2^t - 1 \quad (8)$$

Пусть  $\mathcal{Q}$  — множество вероятностных распределений, порождаемых всеми ограничениями (8).

Предположим, что  $j$ -й критерий второго уровня по отношению к  $k$ -му критерию первого уровня выбран экспертами с некоторой неизвестной вероятностью  $q_j(k)$  такой, что условие  $\sum_{k=1}^t q_k = 1$  справедливо для каждого  $k = 1, \dots, t$ . Тогда вероятности критериев удовлетворяют следующей системе неравенств:

$$Bel(D_l(k)) \leq \sum_{j: C_j(k) \in D_l(k)} q_j(k) \leq Pl(D_l(k)), l = 1, \dots, 2^r - 1, k = 1, \dots, t \quad (9)$$

Пусть  $\mathcal{Q}(k)$  — набор вероятностных распределений, создаваемых всеми ограничениями (9) с фиксированным значением  $k$ .

Обозначим

$$a_{jl}(k) = \sum_{i: B_i \subseteq B_l} m(B_i | C_j(k))$$

$$b_{jl}(k) = \sum_{i: B_i \cap B_l \neq \emptyset} m(B_i | C_j(k))$$

Здесь индекс  $j$  соответствует  $j$ -му критерию второго уровня, выбранному по  $k$ -му критерию первого уровня. Индекс  $l$  означает количество

подмножеств  $B_l \setminus B_l$ , выбранных для вычисления функций доверия и правдоподобия.

Зафиксируем распределения вероятностей  $q = (q_1, \dots, q_t)$  и  $q(k) = (q_1(k), \dots, q_r(k))$ ,  $k = 1, \dots, t$ . Теперь мы можем записать функции условного доверия  $Bel_{q,q(k)}(B_l)$  и правдоподобия  $Pl_{q,q(k)}(B_l)$  РР функции  $B_l$  в условиях фиксированных распределений  $q$  и  $q(k)$ ,  $k = 1, \dots, t$ .

$$Bel_{q,q(k)}(B_l) = \sum_{i: B_i \subseteq B_l} m_{q,q(k)}(B_i) = \sum_{k=1}^t q_k \sum_{j=1}^r q_j(k) \cdot a_{jl}(k) \quad (10)$$

$$Pl_{q,q(k)}(B_l) = \sum_{i: B_i \cap B_l \neq \emptyset} m_{q,q(k)}(B_i) = \sum_{k=1}^t q_k \sum_{j=1}^r q_j(k) \cdot a_{jl}(k) \quad (11)$$

Минимизируя функцию доверия и максимизируя функцию правдоподобия по всем распределениям  $q \in \mathcal{Q}$  и  $q(k) \in \mathcal{Q}(k)$ ,  $k = 1, \dots, t$  мы можем получить безусловную нижнюю функцию доверия и верхнюю функцию правдоподобия  $B_l$ . Это можно выполнить, решив задачи оптимизации.

$$Bel(B_l) = \min_{q,q(k)} Bel_{q,q(k)}(B_l) \quad (12)$$

$$Pl(B_l) = \max_{q,q(k)} Pl_{q,q(k)}(B_l) \quad (13)$$

при условии (8) и (9).

На первый взгляд, (12) и (13) являются типичными задачами квадратичного программирования, имеющими линейные ограничения и нелинейные целевые функции. Однако мы можем показать, что любую задачу оптимизации можно решить, рассмотрев набор из  $t + 1$  задач линейного программирования.

Обозначим,

$$\mathbb{E}_{q(k)} a_l(k) = \sum_{j=1}^r q_j(k) \cdot a_{jl}(k), \quad \mathbb{E}_{q(k)} b_l(k) = \sum_{j=1}^r q_j(k) \cdot b_{jl}(k)$$

Заметим, что множитель  $\mathbb{E}_{q(k)} a_l(k)$  в (10) зависит только от распределений вероятностей из множества  $\mathcal{Q}(k)$  и не зависит от распределений из  $\mathcal{Q}$  и  $\mathcal{Q}(i)$ ,  $i \neq k$ . То же самое можно сказать и обо всех множителях приведенного вида. Отсюда следует, что при условии  $q_k \geq 0$ ,  $k = 1, \dots, t$  выполняются

$$\min_{q,q(k)} Bel_{q,q(k)}(B_l) = \min_{q \in \mathcal{Q}} \sum_{k=1}^t q_k \left( \min_{q(k) \in \mathcal{Q}(k)} \mathbb{E}_{q(k)} a_l(k) \right)$$

$$\max_{q,q(k)} Pl_{q,q(k)}(B_l) = \max_{q \in \mathcal{Q}} \sum_{k=1}^t q_k \left( \max_{q(k) \in \mathcal{Q}(k)} \mathbb{E}_{q(k)} a_l(k) \right)$$

Следовательно, для вычисления функции доверия мы получаем набор простых задач линейного программирования

$$\underline{\mathbb{E}}_{a_l(k)} = \min_{q(k)} \mathbb{E}_{q(k)} a_l(k)$$

при ограничениях (9) или  $q(k) \in \mathcal{Q}(k)$  и задаче линейного программирования

$$Bel(B_l) = \min_q \sum_{k=1}^t q_k \cdot \underline{\mathbb{E}}_{a_l(k)} \quad (14)$$

при ограничениях (8) или  $q(k) \in \mathcal{Q}(k)$

То же самое можно сказать и о вычислении функции правдоподобия, т.е.

$$Pl(B_l) = \max_q \sum_{k=1}^t q_k \cdot \overline{\mathbb{E}}_{b_l(k)} \quad (15)$$

при ограничениях (8) или  $q(k) \in Q(k)$ , где  $\bar{\mathbb{E}}b_l(k)$ ,  $k = 1, \dots, t$  получается путем решения  $t$  простых задач линейного программирования

$$\bar{\mathbb{E}}a_l(k) = \max_{q(k)} \mathbb{E}_{q(k)} b_l(k)$$

при ограничениях (9) или  $q(k) \in Q(k)$

Вернемся к рассматриваемому примеру и предположим, что существуют две транспортные фирмы. Каждая фирма предлагает услуги по перевозке грузов, но фирмы имеют разные уровни надежности доставки и стоимости перевозки. Соответствующее иерархическое дерево решений с двумя уровнями критериев изображено на рисунке 3. Два эксперта отдадут предпочтение первой фирме, а три эксперта — обеим фирмам. Следовательно, базовые вероятности подмножеств  $D_1, D_2, D_3$  составляют 0:4, 0, 0:6 соответственно. Предпочтения экспертов по второму уровню критериев по первой и второй фирмам приведены в табл. 6 и в табл. соответственно. Эти таблицы также содержат базовые вероятности  $m(D_l(k))$  всех подмножеств  $C_2(k)$ . Экспертные заключения об альтернативах по первому и второму критериям второго уровня приведены в табл. 5.

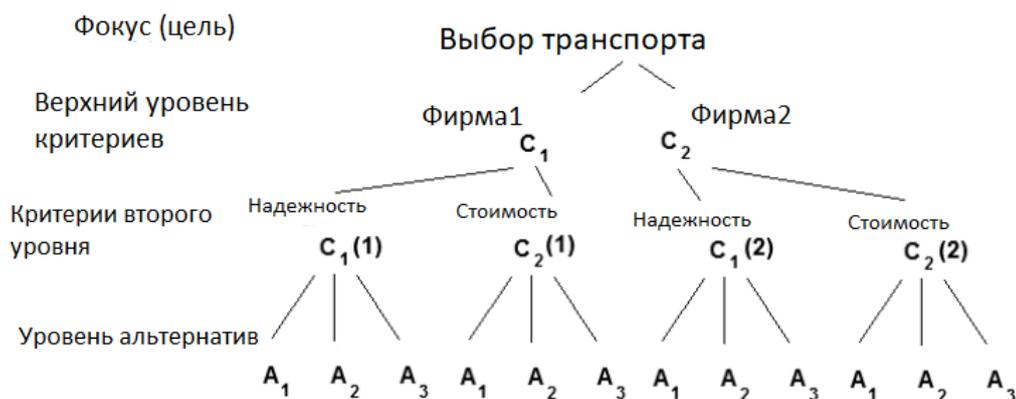


Рис. 3 Иерархия с двумя уровнями критериев

Таблица 6

Предпочтения экспертов относительно критериев второго уровня по отношению к первой фирме.

	$D_1(1)$	$D_2(1)$	$D_3(1)$
$c_l$	2	4	4
$m(D_l(k))$	0.2	0.4	0.4

Таблица 7

Предпочтения экспертов относительно критериев второго уровня по отношению ко второй фирме.

	$D_1(2)$	$D_2(2)$	$D_3(2)$
$c_l$	3	2	5
$m(D_l(k))$	0.3	0.2	0.5

Здесь мы предполагаем, что веса альтернатив одинаковых критериев второго уровня идентичны, т. е. эксперты не признают или не «видят» пер-

вый уровень критериев и оценивают альтернативы по множеству  $C_2(k)$ . Это означает, что  $m(B_i|C_l(k)) = m(B_i|C_l(j))$  для всех возможных  $i, l, k, j$ . Прежде всего находим значения  $\underline{E}a_l(k)$  и  $\overline{E}b_l(k)$  для  $k = 1, 2$ . Например, справедливы для

$$\begin{aligned}
 & l = 1 (B_1 = \{A_1\}), k = 1 \\
 \underline{E}a_1(1) &= q_1(1) \cdot a_{11}(1) + q_2(1) \cdot a_{21}(1) \\
 &= q_1(1) \cdot m(B_1|C_1(1)) + q_2(1) \cdot m(B_1|C_2(1)) \\
 &= q_1(1) \cdot \frac{5}{15} + q_2(1) \cdot 3/15 \\
 \underline{E}b_1(1) &= q_1(1) \cdot b_{11}(1) + q_2(1) \cdot b_{21}(1) \\
 &= q_1(1) \cdot (m(B_1|C_1(1)) + m(B_4|C_1(1)) + m(B_5|C_1(1)) \\
 &\quad + m(B_7|C_1(1))) + q_2(1) \cdot (m(B_1|C_2(1)) + m(B_4|C_2(1)) \\
 &\quad + m(B_5|C_2(1)) + m(B_7|C_2(1))) = q_1(1) \cdot \frac{10}{15} + q_2(1) \cdot \frac{11}{15}
 \end{aligned}$$

Ограничения имеют вид:

$$\begin{aligned}
 0.2 &\leq q_1(1) \leq 0.6 \\
 0.4 &\leq q_2(1) \leq 0.6 \\
 1 &= q_1(1) + q_2(1)
 \end{aligned}$$

Решая задачи линейного программирования с указанными выше ограничениями, получаем:

$$\begin{aligned}
 \underline{E}a_1(1) &= 0.4 \cdot \frac{5}{15} + 0.6 \cdot \frac{3}{15} = 0.253 \\
 \overline{E}b_1(1) &= 0.6 \cdot \frac{10}{15} + 0.4 \cdot \frac{11}{15} = 0.693
 \end{aligned}$$

Таким же образом мы можем найти все значения  $\underline{E}a_l(k)$  и  $\overline{E}b_l(k)$ , которые представлены в Таблице 8.

Таблица 8

**Результаты вычисления функций доверия и правдоподобия.**

	$B_1$	$B_2$	$B_3$	$B_4$	$B_5$	$B_6$	$B_7$
$\underline{E}a_l(1)$	0.253	0.093	0.16	0.573	0.533	0.293	1
$\overline{E}b_l(1)$	0.706	0.467	0.427	0.84	0.907	0.747	1
$\underline{E}a_l(2)$	0.24	0.087	0.153	0.574	0.533	0.287	1
$\overline{E}b_l(2)$	0.713	0.467	0.453	0.847	0.913	0.76	1

Теперь мы можем вычислить нижнюю безусловную функцию доверия  $Bel(B_l)$  из (14), решив задачу линейного программирования с целевой функцией  $q_1 \cdot \underline{E}a_l(1) + q_2 \cdot \underline{E}a_l(2)$  и ограничениями (8):

$$\begin{aligned}
 0.4 &\leq q_1 \leq 1 \\
 0 &\leq q_2 \leq 0.6 \\
 1 &= q_1 + q_2
 \end{aligned}$$

Точно так же мы можем найти верхнюю функцию безусловного правдоподобия  $Pl(B_l)$  из (15), решив задачу линейного программирования

с целевой функцией  $q_1 \cdot \bar{E}b_l(1) + q_2 \cdot \bar{E}b_l(2)$  с теми же ограничениями. Результаты вычислений показаны в табл. 9.

Таблица 9

**Безусловные функции доверия и правдоподобия**

	$B_1$	$B_2$	$B_3$	$B_4$	$B_5$	$B_6$	$B_7$
$Bel(B_l)$	0.245	0.089	0.156	0.557	0.533	0.289	1
$Pl(B_l)$	0.71	0.467	0.443	0.844	0.91	0.755	1

**Заключение.**

Предлагаемый метод в первую очередь модифицирует метод ДШ/МАИ Он использует самые простые неточные сравнительные суждения без получения дополнительной информации в виде веса или вероятности. Экспертам даже не нужно приводить парные сравнения - они выбирают только некоторые подмножества из множества базовых элементов в соответствии с определенным критерием, и они выбирают подмножества критериев из набора критериев как предпочтительные группы критериев на каждом уровне. Предлагаемый метод одновременно моделирует неточные суждения на двух уровнях иерархии. Он основан на использовании мощной математической основы теории Демпстера-Шейфера и может быть легко расширен до любого числа уровней в иерархии. Следует отметить, что мы не можем получить лучшее решение, имея небольшое количество исходной информации. Однако мы получаем более осторожное решение и можем выбирать между оптимистической и пессимистической стратегиями.

**Библиографический список**

1. T. Augustin, Expected utility within a generalized concept of probability - a comprehensive framework for decision making under ambiguity, *Statistical Papers* **43** (2002), p. 5-22.
2. M. Beynon, DS/AHP method: A mathematical analysis, including an understanding of uncertainty, *European Journal of Operational Research* **140** (2002), p. 148-164.
3. M. Beynon, A method of aggregation in DS/AHP for group decision-making with the non-equivalent importance of individuals in the group, *Computers & Operations Research* **32** (2005), p. 1881-1896
4. M. Beynon, B. Curry and P. Morgan, The Dempster-Shafer theory of evidence: An alternative approach to multicriteria decision modelling, *Omega: International Journal of Management Science* **28** (2000), p. 37-50
5. M. Danielson, L. Ekenberg and A. Larsson, Distribution of expected utility in decision trees, *International Journal of Approximate Reasoning* **46** (2007), p. 387-407.
6. A. P. Dempster, Upper and lower probabilities induced by a multi-valued mapping, *Annals of Mathematics Statistics* **38** (1967), p. 325-339.

7. M. Deng, W. Xu and J.-B. Yang, Estimating the attribute weights through evidential reasoning and mathematical programming, *International Journal of Information Technology & Decision Making* 3 (2004), p. 419-428.
8. D. K. Despotis and D. Derpanis, A minmax goal programming approach to priority derivation in AHP with interval judgements, *International Journal of Information Technology & Decision Making* 7 (2008), p. 175-182.
9. L. Ekenberg and J. Thorbioernson, Second-order decision analysis, *International Journal of Uncertainty Fuzziness and Knowledge-based Systems* 9 (2001), p. 13-38.
10. J. Y. Halpern and R. Fagin, Two views of belief: Belief as generalized probability and belief as evidence, *Artificial Intelligence* 54 (1992), p. 275-317.
11. M.-S. Kuo, G.-S. Liang and W.-C. Huang, Extensions of the multicriteria analysis with pairwise comparison under a fuzzy environment, *International Journal of Approximate Reasoning* 43 (2006), p. 268-285.
12. C.-T. Lin, C. Lee and C.-S. Wu, Fuzzy group decision making in pursuit of a competitive marketing strategy, *International Journal of Information Technology & Decision Making* 9 (2010), p.281-300.
13. R. D. Luce and H. Rai@a, *Games and decisions* (Wiley, New York, 1957).
14. L. Mikhailov, H. Didekhani and S. Sadi-Nezhad, Weighted prioritization models in the fuzzy analytic hierarchy process, *International Journal of Information Technology & Decision Making* 10 (2011), p. 681-694.
15. J. Mustajoki, R. P. Hamalainen and M. R. K. Lindstedt, Using intervals for global sensitivity and worst-case analyses in multiattribute value trees, *European Journal of Operational Research* 174 (2006), p. 278-292.
16. J. Mustajoki, R. P. Hamalainen and A. Salo, Decision support by interval SMART/ SWING Incorporating imprecision in the SMART and SWING methods, *Decision Sciences* 36 (2005), p. 317-339.
17. A. Nieto-Morote and F. Ruz-Vila, A fuzzy AHP multi-criteria decision-making approach applied to combined cooling, heating, and power production systems, *International Journal of Information Technology & Decision Making* 10 (2011), p. 497-517.
18. K.-M. Osei-Bryson, Supporting knowledge elicitation and consensus building for Dempster-Shafer decision models, *International Journal of Intelligent Systems* 18 (2003), p. 129-148.
19. K. S. Park and S. H. Kim, Tools for interactive multi-attribute decision making with incompletely identified information, *European Journal of Operational Research*, 98 (1997), p. 111-123.
20. Y. Peng, G. Kou, G. Wang, W. Wu and Y. Shi, Ensemble of software defect predictors: An AHP-based evaluation method, *International Journal of Information Technology & Decision Making* 10 (2011), p. 187-206.
21. T. L. Saaty. *Multicriteria Decision Making: The Analytic Hierarchy Process* (McGraw Hill, New York, 1980).
22. A. Salo and R. P. Hamalainen, Preference ratios in multiattribute evaluation (PRIME) - Elicitation and decision procedures under incomplete information,

- IEEE Transactions on Systems Man and Cybernetics - Part A: Systems and Humans 31 (2001), p.533-545.
- 23.A. Salo and A. Punkka, Rank inclusion in criteria hierarchies, *European Journal of Operational Research* 163 (2005), p. 338-356.
  - 24.J. Schubert, On in a decision-theoretic apparatus of Dempster-Shafer theory, *International Journal of Approximate Reasoning* 13 (1995), p. 185-200.
  - 25.G. Shafer, *A Mathematical Theory of Evidence* (Princeton University Press, 1976).
  - 26.T. Tervonen, R. Lahdelma and P. Salminen, A method for eliciting and combining group preferences for stochastic multicriteria acceptability analysis, TUCS Technical Report 638, Turku Centre for Computer Science, Turku, Finland (2004).
  - 27.L. V. Utkin and Th. Augustin, Efficient algorithms for decision making under partial prior information and general ambiguity attitudes, in *Proc. 4th Int. Symp. on Imprecise DS/AHP Method under Partial Information about Criteria and Alternatives 325 Probabilities and Their Applications, ISIPTA'05*, eds. T. Seidenfeld, F. G. Cozman and R. Nau (Carnegie Mellon University, SIPTA, Pittsburgh, USA, 2005), pp. 349-358.
  - 28.L. V. Utkin and Th. Augustin, Decision making under incomplete data using the imprecise Dirichlet model, *International Journal of Approximate Reasoning* 44 (2007), p. 322-338.
  - 29.P. Walley, *Statistical Reasoning with Imprecise Probabilities* (Chapman and Hall, London, 1991).
  - 30.Y.-M. Wang, J.-B. Yang and D.-L. Xu, Interval weight generation approaches based on consistency test and interval comparison matrices, *Applied Mathematics and Computation* 167 (2005), p. 252-273.
  - 31.M. Weber, Decision making with incomplete information, *European Journal of Operational Research* 28 (1987), p. 44-57.
  - 32.K. Weichselberger, *Elementare Grundbegri®e einer allgemeineren Wahrscheinlichkeitsrechnung, I. Intervallwahrscheinlichkeit als umfassendes Konzept* (Physika, Heidelberg, 2001) (in German).

**А.А. Мокринский**, студент  
Кафедра информационных систем и технологий  
СПбГЛТУ им. С. М. Кирова  
E-mail: [A.A.Mokrinsky@gmail.com](mailto:A.A.Mokrinsky@gmail.com)

**А.К. Бойцов**, ассистент  
Кафедра информационных систем и технологий  
СПбГЛТУ им. С. М. Кирова  
E-mail: [A.K.Boitsov@yandex.ru](mailto:A.K.Boitsov@yandex.ru)

## МЕТОДЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ДИФРАКЦИИ СИГНАЛА В ЛЕСНЫХ УСЛОВИЯХ

### METHODS FOR MODELING SIGNAL DIFFRACTION IN FOREST CONDITIONS

***Аннотация:** В данной статье проведен анализ факторов, влияющих на распространение сигнала в лесных условиях, с акцентом на частоту сигнала и препятствия на его пути. Исследованы различные методы моделирования дифракции, такие как Френеля-Кирхгофа, Буллингтона и Эпштейна-Петерсона, способные учитывать геометрические особенности препятствий в лесной местности. Рассмотрены также метод геометрической теории дифракции и метод численного моделирования. Кроме того, была разработана таблица выбора метода моделирования дифракции с учетом параметров древостоя. Также предложено практическое применение этих методов на лесных участках с учетом их параметров. Результаты исследования могут быть полезны для оптимизации расположения беспроводных станций и антенн в лесных условиях с целью обеспечения эффективной работы беспроводных систем связи.*

***Abstract.** This article analyzes the factors influencing the propagation of a signal in forest conditions, with an emphasis on the frequency of the signal and obstacles in its path. Various methods of diffraction modeling, such as Fresnel-Kirchhoff, Bullington and Epstein-Peterson, capable of taking into account the geometric features of obstacles in a forest area, have been studied. The method of geometric diffraction theory and the method of numerical modeling are also considered. In addition, a table for choosing a diffraction modeling method was developed, taking into account the parameters of the stand. The practical application of these methods in forest areas, taking into account their parameters, is also proposed. The results of the study can be useful for optimizing the location of wireless stations*

*and antennas in forest conditions in order to ensure the effective operation of wireless communication systems.*

**Ключевые слова:** *беспроводные технологии, распространение радиоволн, методы моделирования, дифракция, лес, лесные условия, методы моделирования дифракции.*

**Keywords:** *wireless technologies, radio wave propagation, modeling methods, diffraction, forest, forest conditions, diffraction modeling methods.*

## **Введение**

С увеличением популярности беспроводных технологий возрастает потребность в точном прогнозировании распространения радиоволн в городских районах и лесных массивах с целью оптимизации расположения станций и антенн. Прогнозирование этого распространения играет ключевую роль в обеспечении эффективной работы беспроводных сетей. По данным Международного союза электросвязи, к 2025 году ожидается более 20 миллиардов подключенных беспроводных устройств [1].

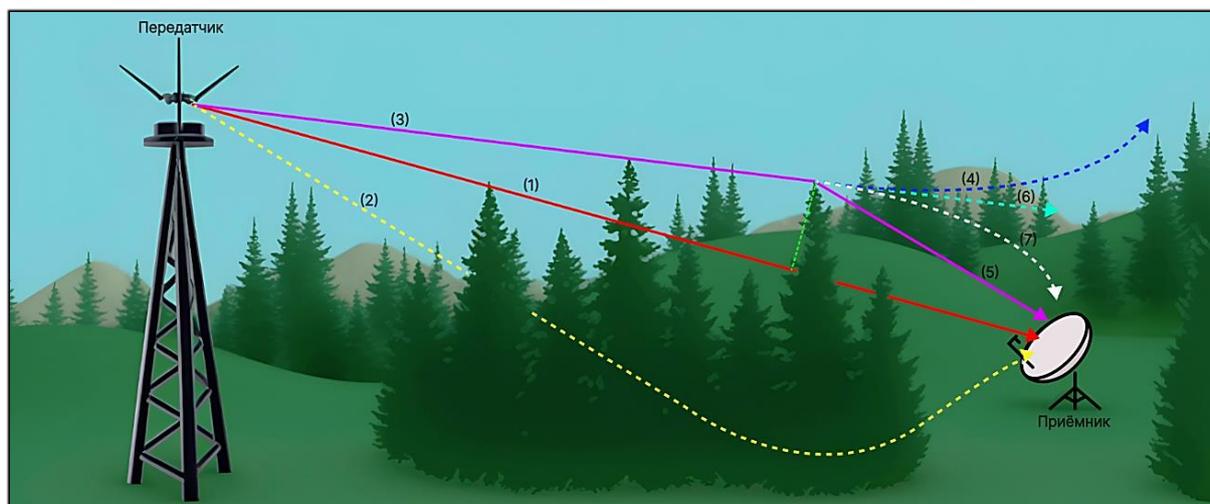
В городских условиях беспроводная связь эффективно применяется для оперативного сбора и передачи данных благодаря развитой инфраструктуре и точным моделям распространения сигналов. Однако применение этого опыта в лесных массивах сталкивается с рядом проблем, включая рельеф местности, изменчивость погодных условий, а также состав и количество растительности [2, 10].

Методы прогнозирования распространения радиоволн включают в себя анализ разнообразных факторов, таких как форма рельефа, высота местности, частота сигнала, а также характеристики передатчика и приемника, в сочетании с препятствиями на пути распространения сигнала [1, 12]. Среди этих факторов, частота сигнала и препятствия на пути распространения сигнала оказывают наибольшее влияние на эффективность беспроводных систем [10]. Частота сигнала определяет дальность передачи и способность сигнала проникать сквозь препятствия, такие как деревья, здания и холмы, которые могут ослабить сигнал или вызвать помехи. Все эти факторы учитываются при применении методов моделирования дифракции, поэтому в статье пойдет речь о выборе методов моделирования дифракции с учетом параметров лесных условий.

## **Влияние дифракции на радиосигнал в лесной местности**

В лесной местности влияние дифракции сигнала обусловлено множеством факторов, которые следует учитывать. Например, низкочастотные сигналы, благодаря их большей длине волны, лучше преодолевают препятствия за счет дифракции, что позволяет обходить деревья и другие преграды (рисунок 1). В то же время, высокочастотные сигналы, из-за их более короткой длины волны, менее подвержены дифракции, что приводит к

сильному поглощению и рассеиванию при взаимодействии с лесными преградами, уменьшая тем самым способность сигнала проникать через препятствия и снижая эффективность передачи данных [3].



**Рис. 1** Схема передача сигнала в условиях леса: 1 – Прямая видимость, 2 – Преодоление препятствия низкочастотный сигналом, 3 – Начальное направление высокочастотного сигнала (ВС), 4 – Отклонение от начального направления ВС, 5 – Прогнозируемое преодоление препятствия ВС, 6 – Направление ВС, 7 – Фактическое направление ВС после преодоления препятствия

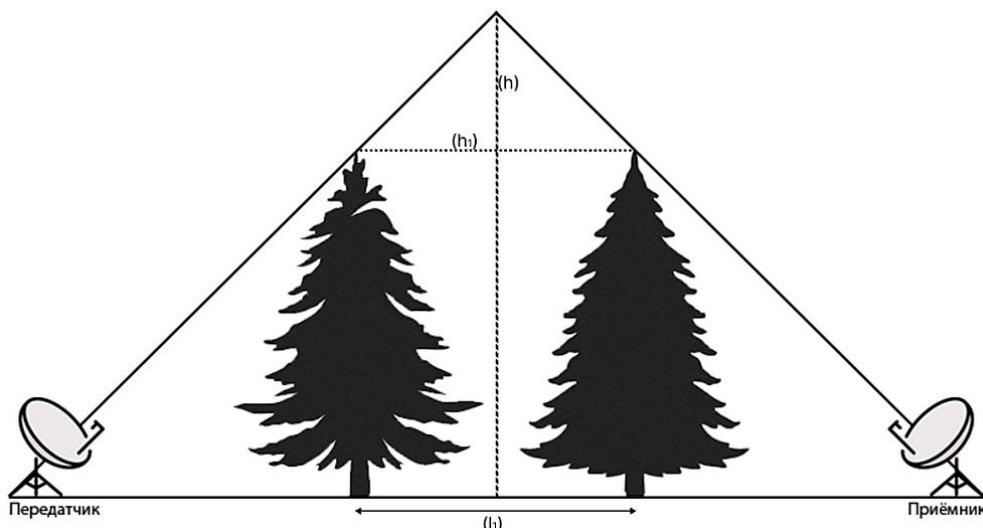
В лесной местности, помимо длины волны, следует учитывать разнообразные формы препятствий, такие как ветви и стволы деревьев. Эти элементы создают сложные эффекты дифракции, которые зависят от их геометрии и могут значительно влиять на распространение радиоволн [4]. Такие явления особенно заметны на больших расстояниях между передатчиком и приемником, особенно при передаче сигнала от открытых пространств к плотной растительности. Важно учитывать эти особенности при разработке беспроводных систем связи для лесных территорий.

### Методы моделирования дифракции

Для более точного моделирования дифракции радиосигнала в условиях леса с учетом разнообразных форм препятствий применяются различные методы. Среди методов моделирования дифракции, которые учитывают разнообразие форм препятствий, можно выделить метод Френеля-Кирхгофа, метод Буллингтона и метод Эпштейна-Петерсона.

Метод Буллингтона является аналитическим методом, который применяется для оценки дифракции на краях препятствий вне зависимости от их размера (рисунок 2) [5]. Основным аспектом этого метода является угловое положение препятствия относительно линии передачи сигнала. Дан-

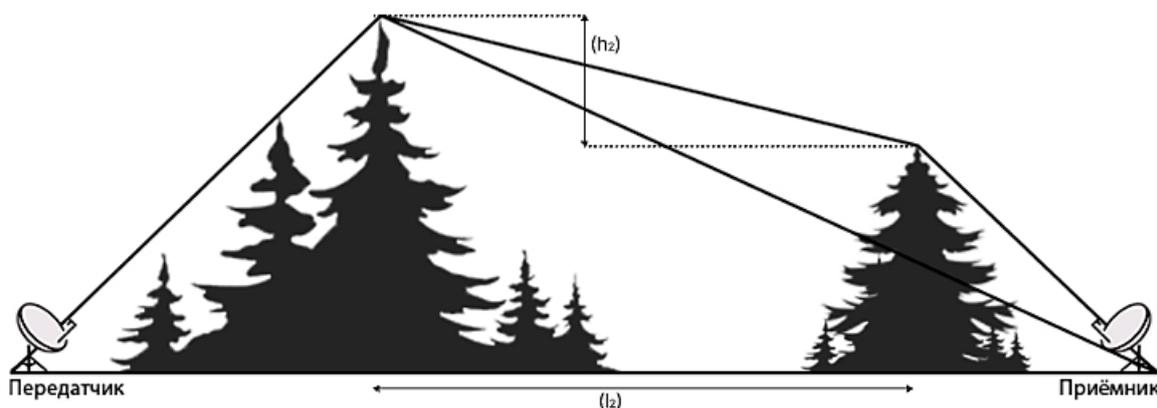
ный подход позволяет учитывать влияние геометрии препятствий на процесс дифракции сигнала.



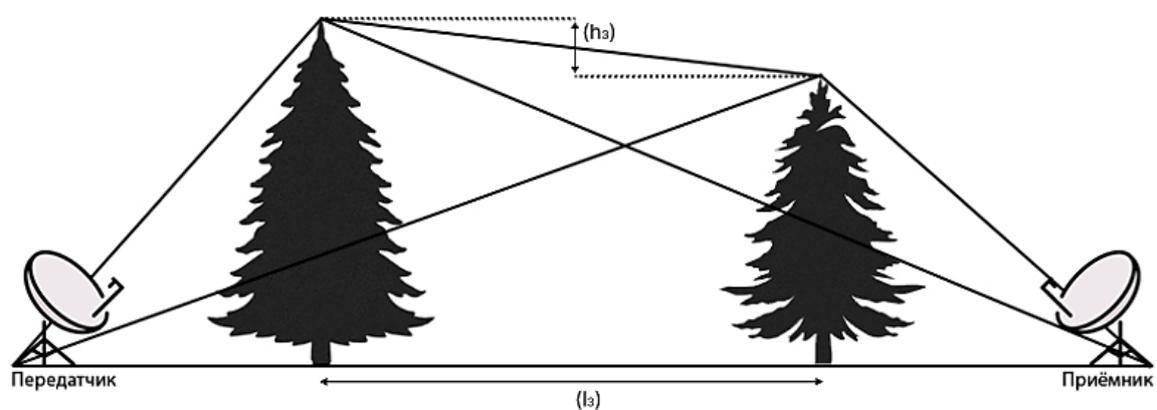
**Рис. 2** Метод моделирования дифракции Буллинтона:  $h$  – высота больше препятствия,  $h_1$  – высота препятствия,  $l_1$  – расстояние между препятствиями

Метод Френеля-Кирхгофа является широко используемым инструментом для моделирования дифракции радиоволн (рисунок 3). Он основан на интегральном уравнении дифракции, что позволяет учитывать разнообразные препятствия и условия распространения сигнала. Особенностью этого метода является использование зон Френеля для анализа взаимодействия волн. Зоны Френеля помогают оценить вклад дифракции в изменение сигнала в зависимости от различных факторов, таких как форма препятствий и расстояние между передатчиком и приемником. Такой подход позволяет более глубоко понять воздействие дифракции на качество передаваемого сигнала при различных условиях распространения [6].

Метод Эпштейна-Петерсона является уникальным подходом к моделированию дифракции радиосигнала, который учитывает не только прямую видимость между передатчиком и приемником, но также влияние различных препятствий на распространение сигнала (рисунок 4) [7]. Этот метод позволяет более точно учитывать реальные условия, что важно для создания более достоверных моделей распространения сигнала [8]. Отличительной особенностью метода Эпштейна-Петерсона является возможность детального моделирования эффектов, связанных с различными типами препятствий, включая их форму и материал [7]. Такой подход обеспечивает более глубокое понимание влияния препятствий на дифракцию сигнала и позволяет создавать более точные и реалистичные прогнозы распространения радиосигналов в различных условиях, включая лесные территории.



**Рис. 3** Метод Френеля-Кирхгофа моделирования дифракции:  $h_2$  – разность высот препятствий,  $l_2$  – расстояние между препятствиями



**Рис. 4** Метод моделирования дифракции Эпштейна-Петерсона:  $h_3$  – разность высот препятствий,  $l_3$  – расстояние между препятствиями

Кроме того, следует отметить два других метода: метод геометрической теории дифракции и метод численного моделирования. Геометрическая теория дифракции представляет собой аналитический подход к решению задачи дифракции, учитывающий особенности геометрии препятствий [8]. Этот метод позволяет более точно оценивать воздействие геометрических особенностей на распространение сигнала. В численном моделировании используются методы, способные учитывать сложные геометрические формы и условия распространения сигнала. Это позволяет более детально и точно описывать поведение сигнала в различных окружающих средах [9].

### **Выбор методов моделирования дифракции в лесных условиях**

При анализе лесных условий для определения дифракции сигнала важно учитывать ряд факторов, которые влияют на выбор методов моделирования. В условиях высокой плотности древостоя, когда деревья находятся близко друг к другу, что создает сложную дифракцию, методы Буллинтона и геометрической теории дифракции оказываются эффективными, поскольку они учитывают форму и расположение препятствий. В слу-

чае низкой плотности древостоя, когда обеспечивается пространство для распространения сигнала, предпочтительнее использовать методы Эпштейна-Петерсона и Френеля-Кирхгофа, так как предполагается меньшее количество препятствий.

Кроме того, при выборе метода моделирования дифракции важно учитывать вертикальные размеры препятствий. Методы Буллингтона и Эпштейна-Петерсона рекомендуются для условий с высокими препятствиями, так как они учитывают вертикальные размеры. Для анализа условий с различными диаметрами деревьев рекомендуется использовать методы численного моделирования, такие как метод конечных элементов и метод конечных разностей, которые позволяют учитывать сложные геометрические параметры и явления дифракции, включая подлесок.

Для систематизации методов моделирования дифракции с учетом условий леса разработана таблица, в которой указаны подходящие методы в зависимости от параметров древостоя, таких как плотность, разброс высот и диаметров деревьев, а также наличие подлеска. Таблица помогает выбрать наиболее подходящий метод моделирования в конкретных условиях лесной местности (таблица 1).

Таблица 1

**Выбор метода моделирования дифракции в лесу с учетом параметров лесных условий**

Методы моделирования дифракции	Параметры древостоя				Наличие подлеска
	Плотность		Разброс Высот	Разброс Диаметров	
	Высокая	Низкая			
Буллингтона	+	-	-	-	-
Геометрической Теории Дифракции	+	-	+	-	+
Френеля-Кирхгофа	+	+	+	-	-
Эпштейна-Петерсона	-	+	+	+	-
Численного моделирования	±		±	±	±
	Входные параметры учитываются при наличии				

\*точность методов моделирования дифракции зависит от наличия входных параметров

### **Параметры древостоя и их влияние на выбор методов моделирования дифракции в лесных условиях**

При выборе соответствующего метода важно учитывать параметры древостоя, которые были получены в замерах на местности. Плотность древостоя определяется как количество деревьев на единицу площади и классифицируется на десять групп в зависимости от полноты древостоя. Наивысшая степень полноты обозначается единицей, в то время как остальные уровни полноты определяются дробными значениями от 0.9 до

0.1 где древостой с полнотой до 0,2 включительно не рассматривается как лес согласно официальной классификации.

Разброс высот и диаметров деревьев представляет собой важный параметр. В различных типах леса и в зависимости от возраста деревьев разброс высот и диаметров может значительно варьироваться. Например, средний разброс высот деревьев может колебаться от 10 до 30 метров, а средний диаметр стволов в зрелых лесах может составлять от 20 до 60 сантиметров. Однако эти значения могут изменяться в зависимости от ряда факторов, включая климатические условия, тип почвы и состав лесной растительности.

### **Проведение замеров влияния лесных факторов на уровень радиосигнала**

В рамках исследования влияния лесных факторов на уровень радиосигнала были проведены замеры, учитывающие различные параметры древостоя на объекте исследования. Измерения сигнала производились на шести участках, учитывая разнообразие видов деревьев, плотность насаждений, высоту и диаметр деревьев, а также наличие подлеска [11]. Для измерения уровня радиосигнала создавалась связь на уровне ограниченных зон покрытия с помощью беспроводных устройств, объединенных в узел с использованием точки доступа. Передача данных осуществлялась с использованием технологии Wi-Fi. Для точных измерений высоты применялся высотомер, а для определения диаметра на высоте 1,3 м использовалась мерная вилка. Кроме того, была составлена таблица, отражающая параметры древостоя на участках замеров с 1 по 6 (таблица 2).

Таблица 2

**Параметры древостоя на участках в парке Сосновка, Санкт-Петербург**

Участок	Состав	Группа возраста	Полнота	Высота, м			Диаметр, см			Подлесок
				Мин.	Среднее	Макс.	Мин.	Среднее	Макс.	
1	9С1Б	Средневозрастной	0.4	19.8	20.9	22.3	24.3	26.9	33.9	-
2	10С+Б		0.6	18.8	21.5	25.5	20.2	21.4	24.4	-
3	10С	Молодняк	0.4	15.2	16.9	17.3	22.8	25.1	27.3	+
4	10С		0.5	12.7	15.5	17.8	14.1	18.4	23.8	+
5	10С	Приспевающий	0.6	17.4	19.5	22.9	20.6	23.1	26.4	-
6	10С+Б		0.5	13.3	15.3	17.2	24.4	29.2	34.7	-

## **Выбор методов моделирования дифракции сигнала в лесных условиях**

Для выбора наиболее подходящего метода моделирования дифракции сигнала в лесных условиях необходимо учитывать параметры древостоя, полученные в результате замеров на участках (таблица 2). Применение методов Эпштейна-Петерсона, Френеля-Кирхгофа и Геометрической Теории Дифракции рекомендуется для участков с выраженным разбросом высот деревьев (участки 1, 2, 5 и 6), поскольку эти методы учитывают вертикальные размеры препятствий. Они также способны адаптироваться к различным диаметрам деревьев, обеспечивая высокую точность моделирования в таких условиях.

В процессе моделирования распространения сигнала в лесной местности важно учитывать наличие подлеска, состоящего из рябины и дуба на участках 3 и 4. В таких условиях рекомендуется использовать методы численного моделирования, такие как метод конечных элементов и метод конечных разностей. Эти методы обладают гибкостью в настройке параметров модели и способны учесть влияние подлеска на распространение сигнала с высокой точностью.

## **Комбинированный подход для повышения точности моделирования дифракции сигнала в лесных условиях**

Для повышения точности моделирования на участках предлагается использовать комбинированный подход, совмещающий преимущества различных методов. Например, сочетание метода Буллингтона, который эффективен для анализа вертикальных препятствий, с численными методами для комплексного учета сложности геометрии древостоя и подлеска, обеспечивая высокую точность моделирования. Такой подход адаптирован к специфике каждого участка и позволяет учесть все особенности лесной местности при анализе влияния лесных факторов на уровень сигнала.

## **Заключение**

1. В ходе исследования был проведён анализ факторов, оказывающих влияние на распространение сигнала в лесных условиях, в частности на частоту сигнала и препятствия на его пути. Определение подходящих методов моделирования дифракции является ключевым моментом для обеспечения эффективности беспроводных систем в таких условиях. Геометрия препятствий, таких как ветви и стволы деревьев, создает сложные эффекты дифракции, что подчеркивает важность выбора соответствующих методов моделирования.

2. Были проанализированы методы моделирования дифракции, такие как Френеля-Кирхгофа, Буллингтона и Эпштейна-Петерсона, которые обладают различными характеристиками и способностями учитывать гео-

метрические особенности препятствий в лесной местности. Кроме того, был рассмотрен метод геометрической теории дифракции и численные методы моделирования, которые обеспечивают более детальный анализ сложной геометрии окружающей среды и более точное прогнозирование поведения сигнала. Для удобства сравнения и выбора наиболее подходящего метода в зависимости от условий леса, была разработана таблица, отражающая рекомендации по применению различных методов моделирования.

3. Предложено практическое применение методов моделирования дифракции на различных участках, с учетом параметров древостоя. Методы Эпштейна-Петерсона, Френеля-Кирхгофа и Геометрической Теории Дифракции использовались на участках с различным разбросом высот и диаметров древостоя. Для участков с наличием подлеска были применены методы численного моделирования, включая метод конечных элементов и метод конечных разностей, для учета влияния подлеска на распространение сигнала.

4. Для повышения точности моделирования на всех участках предлагается использование комбинированного подхода, который включает в себя метод Буллингтона, известного своей способностью анализировать вертикальные препятствия, в сочетании с численными методами. Такой комбинированный подход позволяет учитывать сложность геометрии древостоя и подлеска, что способствует достижению высокой точности в моделировании и адаптации к уникальным особенностям каждого лесного участка.

### **Библиографический список**

1. ITU WTDC [Электронный ресурс] Режим доступа: [www.itu.int](http://www.itu.int) (дата обращения: 15.02.2024)
2. L. Paunovska and L. Gavrilovska, "Comparison of propagation models ITU.R-P.1546 and ITU.R-P.1812," 2014 4th International Conference on Wireless Communications, Vehicular Technology, Information Theory and Aerospace & Electronic Systems (VITAE), Aalborg, Denmark, 2014, pp. 1-5, doi: 10.1109/VITAE.2014.6934481
3. Ezzine, Rana & Al-Fuqaha, Ala & Braham, Rafik & Belghith, Abdelfettah. (2008). A new generic model for signal propagation in Wi-Fi and WiMAX environments. 1 - 5. 10.1109/WD.2008.4812872.
4. Cerovac, N. & Blazevic, Zoran & Sekelja, Maja. (2010). Computer simulation of knife-edge based approximate methods for multiple diffraction estimation. International Journal of Intelligent Defence Support Systems. 3. 10.1504/IJIDSS.2010.033675.
5. Kraus, Hal. (1989). Huygens-Fresnel-Kirchoff wave-front diffraction formulation: Spherical waves. Journal of The Optical Society of America A-optics

- Image Science and Vision - J OPT SOC AM A-OPT IMAGE SCI. 6. 10.1364/JOSAA.6.001196.
6. Bibb, Darcy & Dang, Jonathan & Yun, Zhengqing & Iskander, Magdy. (2014). Computational accuracy and speed of some knife-edge diffraction models. 705-706. 10.1109/APS.2014.6904683.
  7. Abdulrasool, Ahmad & Aziz, Jabir & Abou-Loukh, Sadiq. (2017). Calculation Algorithm for Diffraction Losses of Multiple Obstacles Based on Epstein–Peterson Approach. International Journal of Antennas and Propagation. 2017. 1-9. 10.1155/2017/3932487.
  8. Beyer, Jürgen. (2004). A GTD-Based Correction of the Epstein–Peterson Method. Antennas and Propagation, IEEE Transactions on. 52. 888 - 891. 10.1109/TAP.2004.825485.
  9. Apaydin, Gokhan & Sevgi, Levent. (2021). Electromagnetic Diffraction Modeling and Simulation with MATLAB.
  10. Бойцов, А.К. Беспроводная сенсорная сеть для мониторинга лесных территорий / А.К. Бойцов, А.А. Мокринский // Сборник научных трудов совета молодых ученых СПбГЛТУ: Сборник статей. Том Выпуск 2. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова, 2022. – С. 4-18. – EDN XBZSSD
  11. Мокринский, А. А. исследование влияния факторов лесной среды на уровень сигнала / А. А. Мокринский, И. Д. Бажунов, А. К. Бойцов // Актуальные вопросы лесного хозяйства : Материалы VII международной молодежной научно-практической конференции, Санкт-Петербург, 09–10 ноября 2023 года. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет им. С.М. Кирова, 2023. – С. 204-208. – EDN IMIDKL.
  12. Распространение радиоволн: Учебник / О. И. Яковлев, В. П. Якубов, В. П. Урядов, А. Г. Павельев. - Москва.: ЛЕН АНД, под ред. О. И. Яковлева, 2009.-496 с

**И.А. Обухова**, кандидат технических наук, доцент  
Кафедра информационных систем и технологий  
СПбГЛТУ им. С. М. Кирова  
iobukhova@inbox.ru

**Т.К. Екшикеев**, кандидат экономических наук, доцент  
Кафедра экономики и управления  
СПХФУ  
tager.ekshikeev@pharminnotech.com

## **ПЕРСПЕКТИВЫ ЦИФРОВЫХ ПРОЕКТОВ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЛЕКАРСТВЕННЫХ РЕСУРСОВ ЛЕСА**

### **PROSPECTS OF DIGITAL PROJECTS FOR THE USE OF MEDICINAL FOREST RESOURCES**

***Аннотация:** Подготовка квалифицированных кадров предполагает формирование навыков и умений в сфере цифрового управления инновационными проектами. Авторами рассматриваются различные типы и особенности цифровых инновационных проектов в фармацевтике, специфика управления цифровыми проектами при разработке лекарственных средств – с использованием лекарственных ресурсов леса. Представлен ландшафт детализации востребованности цифрового проектного менеджера и цифрового проектного офиса в области фармацевтики.*

***Abstract:** The training of qualified personnel involves the formation of skills and abilities in the field of digital management of innovative projects. The authors consider various types and features of digital innovative projects in pharmacy, the specifics of managing digital projects in the development of medicines – using medicinal resources of the forest. The landscape of detailing the demand for a digital project manager and a digital project office in the field of pharmacy is presented.*

***Ключевые слова:** управление цифровыми проектами, разработка лекарственных средств с использованием ресурсов леса, цифровой проектный менеджер.*

***Keywords:** digital project management, development of medicines using forest resources, digital project manager.*

**Введение (актуальность, состояние вопроса/научная новизна, цель исследования).**

В настоящее время фармацевтические компании открывают перспективные вакансии цифровых проектных менеджеров. Это есть спрос. И есть необходимость его удовлетворить. Происходит трансформация образовательной модели, ориентированной на подготовку не только кадров, спо-

способных эксплуатировать критические технологии, но и высококлассных специалистов, которые готовы к ответу вызовы по созданию фармацевтических производств [1]. Формируются соответствующие научно-образовательные центры [2]. Проводятся актуальные исследования по управлению проектами в фармацевтической индустрии, системным изменениям экономической модели использования доступного отечественного сырья [3, 4].

**Цель исследования** заключается в представлении перспектив реализации цифровых проектов в аспекте использования лекарственных ресурсов леса.

Для достижения поставленной цели предполагается решение комплекса взаимосвязанных задач: представить перспективы использования лекарственных ресурсов леса в фармации; выявить основные области применения управления цифровыми проектами в фармацевтической индустрии; раскрыть функционал востребованных менеджеров цифровых проектов использования лекарственных ресурсов леса; определить значение цифрового проектного офиса.

#### **Материалы и методика исследования.**

Вопросы совершенствования подготовки фармацевтических кадров отвечающих современным требованиям цифровизации рассматриваются в работах И.А. Наркевича, Ю.Г. Ильиновой, А.А. Лина, И.В. Павлушкова.

В основу данного исследования заложен анализ литературы. Отбор статей был ограничен следующими ключевыми словами: управление цифровыми проектами, разработка лекарственных средств с использованием ресурсов леса, цифровой проектный менеджер. Все запросы авторами делались в рамках прошлых различных собственных теоретических и эмпирических исследований, а также при прохождении курсов повышения квалификации для профессорско-преподавательского состава: основы цифровой трансформации, инновационные и цифровые технологии в образовании, цифровые технологии в организации высшего образования: практические приемы и инструменты работы, выполнение микробиологических работ, основы технологии и производство твердых лекарственных форм с учетом правил GMP, ландшафтно-архитектурное оформление среды. Исследование проводилось в рамочном формате *IMRAD (Introduction – Methods – Results and Discussion)*.

#### **Результаты исследования.**

С точки зрения макроперспективы, фармацевтическая индустрия ведёт два типа проектов: молекулярные и немолекулярные. Молекулярные проекты являются уникальными для фармации или, по крайней мере, фармацевтическая индустрия – лидер таких проектов [3]. В немолекулярных проектах (неспецифичных для фармации) есть отставание и соответственно – поле для развития. В аспекте подтверждения актуальности данного исследования следует привести пример цифрового проекта производства

антиоксидантов и пребиотиков из лиственницы. К ключевым показателям проекта относят – производство планируется ввести в работу в 2025 году, в проект будет вложено 150,7 млн. руб., создано 55 рабочих мест [5].

Фармацевтические компании сегодня все больше используют растительные сырьевые материалы леса для производства лекарств. Так из корня женьшеня добывают ценные группы соединений – гинсенозиды, обладающие адаптогенными свойствами и способствующие укреплению иммунитета. Данные соединения – используются для создания медицинских препаратов, улучшающих работу организма в стрессовых ситуациях.

Классическим примером является – пустырник. Его используют для создания успокаивающих препаратов. Из этого растения извлекаются флавоноиды способные снижать уровень стресса и тревожности. Эти препараты широко используются для лечения нервных расстройств и бессонницы.

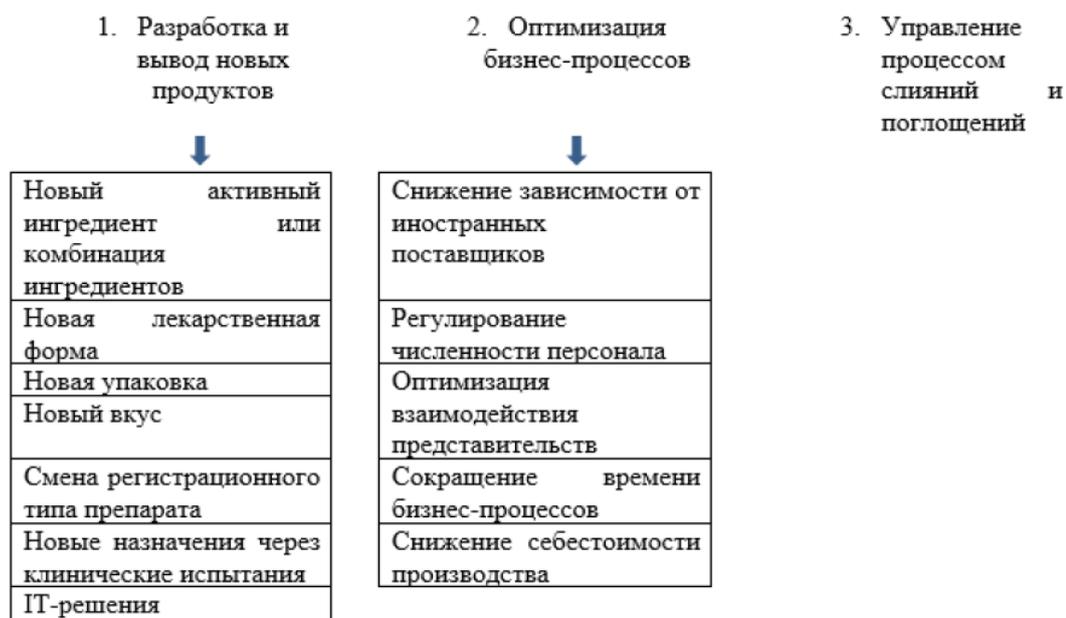
Использование растительных сырьевых материалов леса для производства лекарственных средств имеет ряд преимуществ: – растения содержат множество ценных и необходимых компонентов, которые могут быть использованы для лечения различных заболеваний; – наиболее важное – растительные лекарства характеризуются малым количеством побочных эффектов по сравнению с синтетическими препаратами; – использование растительных сырьевых материалов отечественных лесов способствует учету и сохранению данных природных ресурсов и экологической устойчивости отечественного производства.

Но есть и недостатки использования растительных материалов отечественных лесов в фармацевтическом производстве: – необходимо обеспечивать постоянное и стабильное качество сырья, что может быть сложно из-за разных климатических условий и других факторов; – процесс извлечения значимых компонентов из растений требует специального оборудования, технологий и подготовленных кадров, что ведет к увеличению стоимости производства; – не все растения леса могут быть использованы для создания лекарственных препаратов как из-за их токсичности, так и недостаточной эффективности.

Если взглянуть на область первичной для фармации – область медицины (для нашего исследования – область требуемых препаратов из растительного сырья леса), то есть на высоко инновационную область, то необходимо отметить эволюционное прорывное развитие цифровых проектных инструментов. И этому есть объяснение. Фармацевтическая индустрия кардинально изменилась за последние годы. Возросли и усложнились цепочки поставок, R&D и регуляторные требования. В то же время – рост числа дженериков и трудность открытия новых коммерциализированных лекарственных препаратов относительно стабильны [6]. И если оптимизация цифровых бизнес-процессов и цифровое управление процессом слияний и поглощений являются привычными как для традиционного менеджмента – так и для проектного управления, то цифровое проектное управление разработкой нового продукта в фармации имеет отличительные особенности [3, 7]: – низкий уровень зрелости по отношению к другим отрас-

лям; – высокие риски и неопределенность; – трудность построения цифровой модели для оценки без кооперации всех линейных функций; – сильное влияние регистрационных органов на цифровые проекты; – сильное влияние сложного и узкоспециализированного производства; – невозможность построения детального четкого плана не подверженного изменениям.

Основные области применения управления цифровыми проектами в фармацевтической индустрии представлены на рисунке 1.



**Рис. 1.** - Основные области применения управления цифровыми проектами в фармацевтической индустрии [3]

Как следует из рисунка 1 – управление цифровыми проектами в разработке лекарств – это узкоспециализированное, и до сих пор относительно новое направление в фармации. Оно требует развитых коммуникативных навыков, принятие решений, делегирование задач и управление рисками, а также способность справляться с повседневными проблемами [3, 8]:

- необходимость интенсивной координации между функциями, которые исторически не работали вместе, например, НИОКР, регулирование, право, финансы, цепочка поставок, продажи, и маркетинг;

- высокая степень регулирования и непростые процессы соответствия требованиям;

- относительное непонимание важности цифрового проектного управления;

- отсутствие поддержки управления проектом от руководителей высшего звена;

- географическая «разбросанность» корпоративных исследовательских цифровых проектов;

- возрастающее использование аутсорсинга не только для ИТ и административных функций, но и для исследований и производства;
- размытое управление ресурсами; – выбор платформы цифрового управления проектами;
- сложность в формировании отчетности о прогрессе или финансовых результатах советам директоров и инвесторам;
- отсутствие обучения уникальным навыкам управления цифровыми проектами, необходимым фармацевтическим компаниям и характерным только для фармацевтической разработки.

Сложность структуры контрактной цепи субъектов сетевого инновационного процесса проиллюстрирована на рисунке 2.

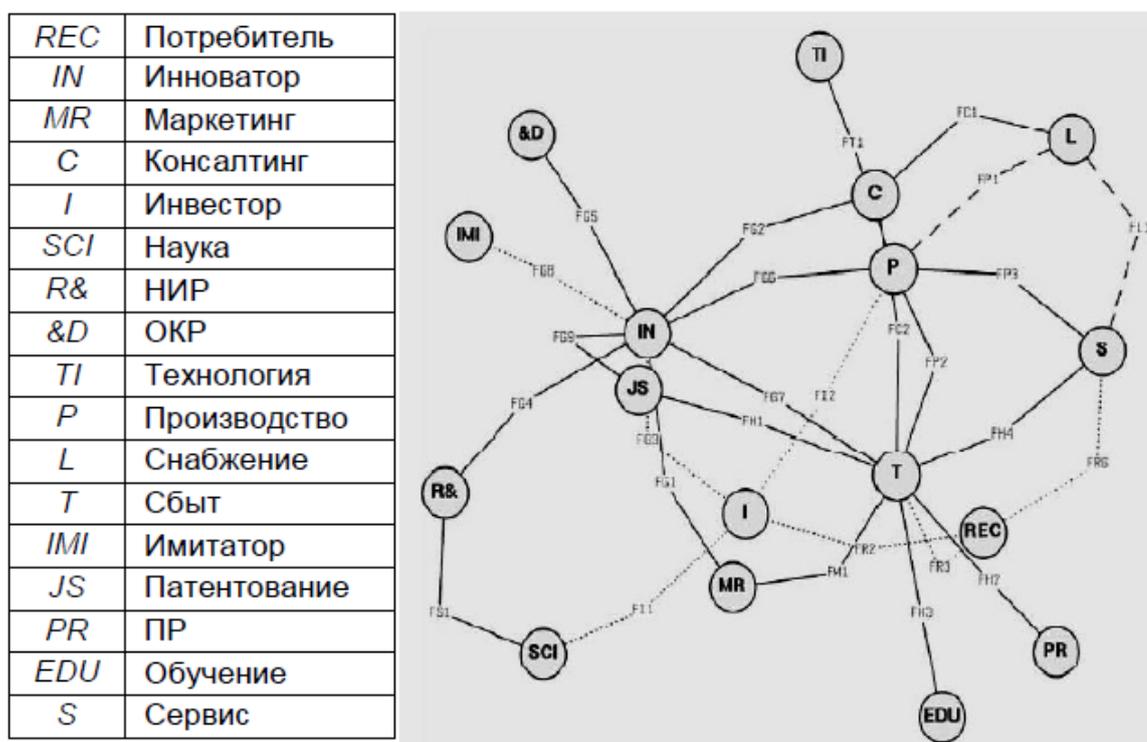
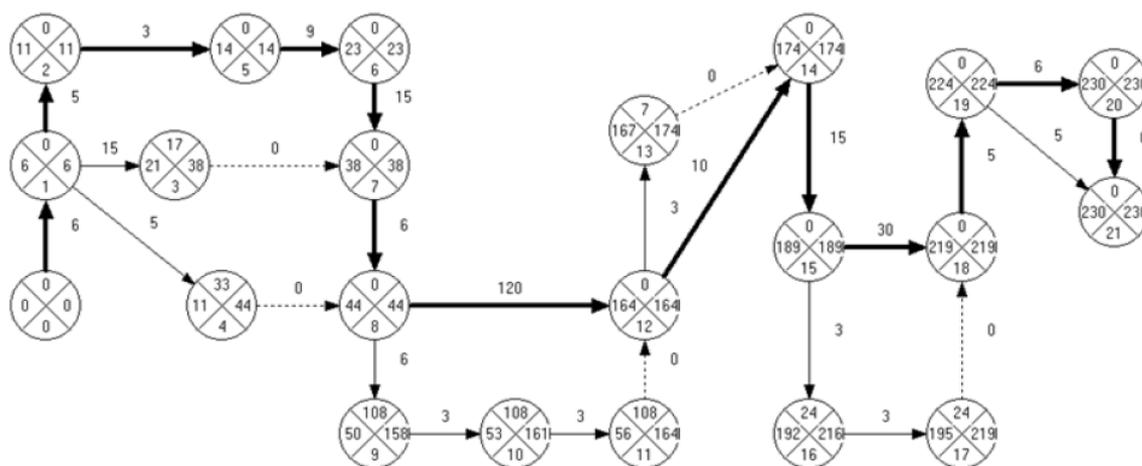


Рис. 2. Структура контрактной цепи субъектов сетевого инновационного процесса [10]

Учитывая относительно новый статус термина цифрового проекта в фармацевтике, следует рассмотреть данный вопрос подробнее. Институт управления проектами (*PMI – Project Management Institute*) определяет проект как «временное предприятие, предпринятое для создания уникального продукта, услуги или результата» [9]. Цифровые проекты временны и отличаются от рутинных операций, основной целью которых является поддержание бизнеса. Однако успешные цифровые проекты приводят к успешной операционной деятельности. Но и сам цифровой проект должен быть реализован с использованием определенной элементарной цифровой платформы – рисунок 3.

Эффективный целевой цифровой фармацевтический проект – ряд взаимосвязанных и взаимозависимых цифровых проектов, отвечающих общей цели. У руководителей цифрового проекта должны быть как очень сильные коммуникационные, так и аналитические навыки, навыки ведения

переговоров и способность разрешать конфликты и эффективно сообщать о достигнутом прогрессе. Это навыки, которые обычно не связаны с компетенциями, получаемыми в процессе образования. С целью преодоления дефицита вышеуказанных способностей, увеличивающееся количество фирм, предоставляющих консультации по вопросам управления, предлагает специализирующиеся на фармации услуги [3, 10]. В то же время это является трендовой возможностью высшего учебного заведения в подготовке региональных востребованных кадров.



**Рис. 3.** Цифровая модель получения микрокапсул методом испарения легколетучего растворителя

Переход к аутсорсингу последних десятилетий – усилил потребность в цифровом проектном управлении. Контрактные организации (см. рис. 2) по разработке и производству (*CDMO – contract development and manufacturing organization*) взяли на себя часть бремени цифрового проектного управления для фармацевтической индустрии, и становятся стратегической частью цифровых проектов и операций любой фармацевтической компании. Эффективному общению с *CDMO* должны способствовать востребованные менеджеры цифровых проектов, в функционал которых входит: управление содержанием отдельных проектов и портфолио проектов; планирование, исполнение и мониторинг цифрового проекта; реализация стратегических планов; установление метрик успеха для каждого цифрового проекта; стандартизация рутинных задач, особенно тех, которые сосредоточены на вопросах соблюдения нормативных требований; управление бюджетами и сроками цифрового проекта; управление изменениями; управление цепочкой создания ценности; внедрение передовых методов обеспечения качества (для продукта и процессов цифрового проекта); оптимизация доступности и использования ресурсов цифрового проекта; управление ожиданиями заинтересованных сторон и коммуникация с ними; предоставление высшему руководству информации о прогрессе каждого проекта; управление стратегиями соответствия; обеспечение выполне-

ния этических требований и требований безопасности; управление рисками цифрового проекта.

Авторы считают, что только наличие высокой степени вовлеченности исполнительного руководства и его поддержка позволят успешно реализовать цифровой проект. Отсутствие у фармацевтической компании такой структурной единицы как цифровой проектный офис приводит к риску потери возможности конструктивного сотрудничества и коммуникации. Цель этой структурной единицы – координировать все аспекты цифровых проектов в организации [3, 10].

Цифровой проектный офис охватывает три области, области критически важные для любого фармацевтического цифрового проекта: научная деятельность; работа с заказчиками; управление ресурсами. Корпоративный цифровой проектный офис выполняет ряд функций: обеспечение проектной политикой, процедурами и шаблонами; введение в практику цифровых проектных инструментов; формирование надлежащей отчетности; координация запуска, планирования и закрытия цифрового проекта; владение дорожной картой программы; определяет ответственность за соответствие цифровых проектов стратегическим целям; мониторинг цифрового проекта и освоенного объема; создание централизованного архива «извлеченных уроков»; предоставление административной поддержки, например, содействие ведению веб-сайт проекта, специальные встречи; управление отношениями с внешними партнерами по контракту такими как *CRO (Contract Research Organization)* и *CDMO*; проведение тренингов по управлению цифровыми проектами, коучинг или наставничество.

Международное общество фармацевтической инженерии (*ISPE – Eurasian Economic Union Affiliate*) предлагает руководство «Управление проектами для фармацевтической индустрии», в котором описаны инструменты и методы реализации фармацевтических цифровых проектов, жизненные циклы в типичном цифровом проекте, нормативные требования к цифровым проектам [10].

## **Выводы.**

Стремясь к успешности в переменах, фармацевтические компании, как и их коллеги в любой другой отрасли, соревнуются и более внимательно, чем ранее, изучают новые рынки и цифровые технологии с целью найти большую ценность. Использование лекарственных ресурсов леса является этой возможностью. Авторы представили перспективы использования лекарственных ресурсов леса в фармации; выявили основные области применения управления цифровыми проектами в фармацевтической индустрии; раскрыли функционал востребованных менеджеров цифровых проектов использования лекарственных ресурсов леса; определили значение цифрового проектного офиса в перспективах успешности цифровых проектов использования лекарственных ресурсов леса.

### Библиографический список

1. Наркевич И.А. Мы сторонники технологического суверенитета // Санкт-Петербургский вестник высшей школы. №10 (188) декабрь, 2022. с.2-3.
2. Мельничук И.А. Будущее лесов России зависит от нас // Санкт-Петербургский вестник высшей школы. №5 (193) май, 2023. с.2-3.
3. Ильинова Ю.Г., Пухакайнен Ю.А., Давыдова Е.М. Управление проектами в фармацевтической индустрии (обзор литературы). //Иновационные технологии, экономика и менеджмент в промышленности: сборник научных статей XI международной научной конференции. 18-19 ноября 2021 г. Часть 2. - Волгоград: ООО «Конверт», - 2021. с. 70-75.
4. Марк Палаи. На пути к европейской стратегии по созданию биоэкономики замкнутого цикла. Европейский институт леса. – <https://www.efi.int>.
5. «Аметис-Фарм» займётся производством антиоксидантов и пребиотиков из лиственницы // Журнал «ЛПК Сибири», июнь 2023. – <https://www.lpk-sibiri.ru>.
6. Эндрю Д. Скибо Цепочки поставок фармацевтической продукции: впереди кардинальные изменения // ISPE объединение фармацевтических знаний – <https://ispe.org/pharmaceutical-engineering/may-june-2018/pharma-supply-chains-dramatic-changes-ahead>.
7. Екшикеев Т.К. Реализация информационно-аналитических моделей инновационных фармацевтических процессов: сетевое планирование и управление. – М.: Кнорус М, 2019. – 252 с.
8. Екшикеев Т.К., Коваленко В.В. Актуальные вопросы финансирования R&D разработок в фармацевтической отрасли России // Медико-фармацевтический журнал Пульс. – 2020. – Т.22, № 6. – С.111-114.
9. Практические руководства и инструкции PMI: Project Management Institute – <https://www.pmi.org/pmbok-guide-standards>.
- 10.Екшикеев Т.К. Экономика и инновации - М.: ГЭОТАР-Медиа, 2019. – <http://www.studmedlib.ru/book/06-COS-2427.html>.
- 11.ISPE – Eurasian Economic Union Affiliate: руководящие документы. – <https://ispe.ru/category/publications>.

**И.А.Обухова**, кандидат технических наук, доцент  
Кафедра информационных систем и технологий  
СПбГЛТУ им. С.М.Кирова  
iobukhova@inbox.ru

**С.Д.Пименов**, кандидат технических наук  
мл. научный сотрудник СПбГЛТУ им. С.М.Кирова  
chudorim@mail.ru

**И.Д. Лобок**, бакалавр  
СПбГЛТУ им. С.М.Кирова  
Ivan.lobok@mail.ru

**ОБРАБОТКА МЕТОДОМ ДЕКОНВОЛЮЦИИ  
ИНФРАКРАСНЫХ СПЕКТРОВ ПОГЛОЩЕНИЯ ОБРАЗЦОВ  
ДРЕВЕСИНЫ БЕРЕЗЫ, СОБРАННОЙ ПО СЕЗОНАМ ГОДА,  
В ПРОГРАММНОМ ПАКЕТЕ *ORIGIN***

**PROCESSING BY DECONVOLUTION METHOD OF INFRARED  
ABSORPTION SPECTRA OF BIRCH WOOD SAMPLES COLLECTED  
BY SEASONS OF THE YEAR IN THE ORIGIN SOFTWARE PACKAGE**

***Аннотация:** В работе рассматривается применение современного физического метода исследования Фурье ИК (инфракрасной) спектроскопии с целью установления зависимости параметров путем деконволюции поглощательной способности природной древесины лиственных пород: плотности водородных связей, энергии Н-связей, длины водородных связей при трёх типах Н-связей, характерных для целлюлозосодержащего растительного древесного сырья с использованием программного пакета Origin и расчетов в Excel.*

***Abstract:** The work discusses the use of a modern physical method of studying Fourier IR (infrared) spectroscopy in order to establish the dependence of parameters by deconvolution of the absorption capacity of natural hardwood wood: hydrogen bond density, H-bond energy, length of hydrogen bonds for three types of H-bonds characteristic for cellulose-containing plant wood raw materials using the Origin software package and calculations in Excel.*

***Ключевые слова:** Фурье ИК-спектроскопия, водородные связи, прочность, целлюлоза.*

***Key words:** Fourier transform infrared spectroscopy, hydrogen bonds, strength, cellulose, birch bark.*

## **Введение.**

Актуальность данной работы заключается в исследовании водородной связи (Н-связи) в древесине березы, которая используется для получения целлюлозы на целлюлозно-бумажных комбинатах (ЦБП). Водородная связь является наиболее характеристичной и информативной в жизни деревьев, особенно в области поглощения гидроксильными ОН-группами. Частоты гидроксильных групп в диапазоне  $3000...3700 \text{ см}^{-1}$  являются наиболее чувствительными к возникновению Н-связей.

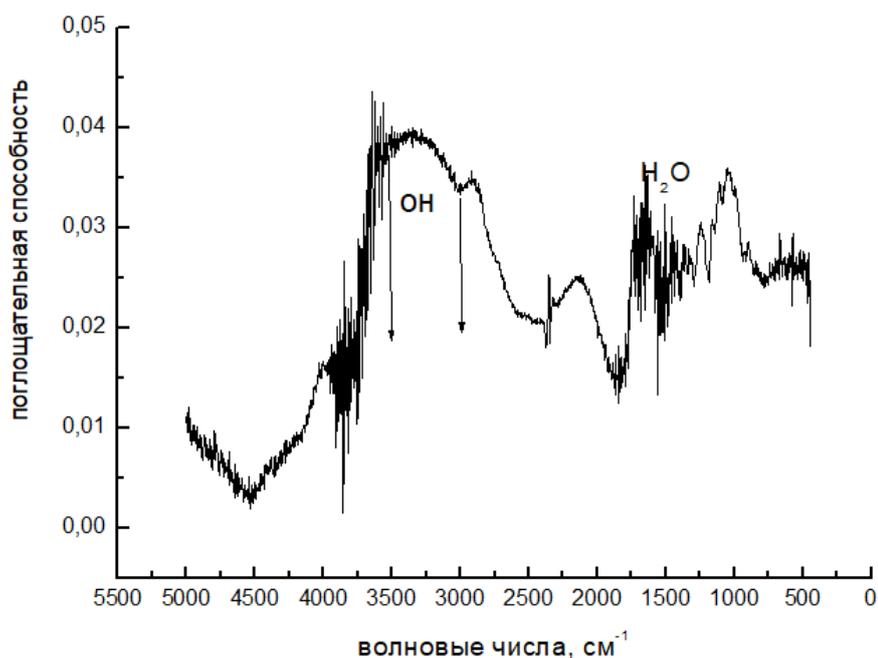
В данной работе проводится изучение влияния сезонов (зима, лето, весна) на древесину березы. В исследовании используется метод Фурье инфракрасной (ИК)-спектроскопии, который стал неотъемлемым средством исследования на молекулярном уровне целлюлозосодержащей клетки древесины [1].

Деконволюция - это процесс разделения сложного сигнала на его компоненты. В данном случае, исследуется спектр связей ОН, которые соединяют атомы водорода и кислорода в молекулах целлюлозы.

Для оценки параметров Н-связей, существует методика, изложенная в работе Фенгела [2]. Один из таких параметров, которым можно оценить энергию Н-связи, является потенциальная энергия со знаком "-" (потенциальная).

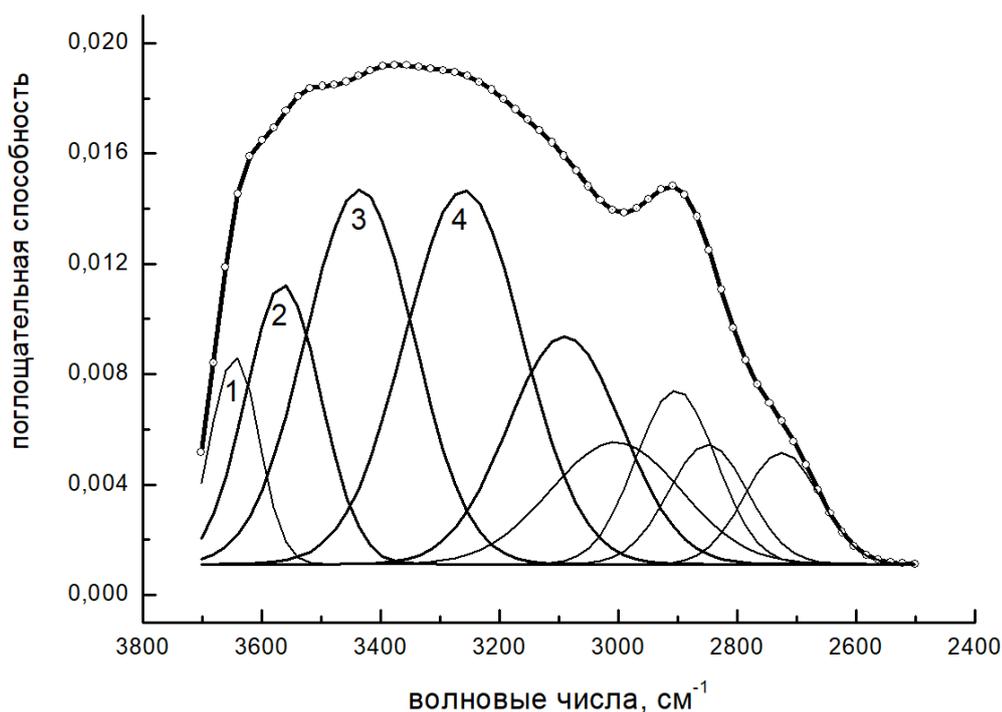
## **Материалы и методика исследования.**

ИК спектры поглощения выполнялись на спилах натуральной древесины березы по сезонам. Уменьшение пропускания вдали от полос поглощения связывалось с рассеянием излучения на естественной неоднородности древесного материала, которое благодаря высокому качеству спилов оказалось достаточно малым, чтобы препятствовать детальному исследованию спектров поглощения. Образцы древесины толщинами 80-100-120 мкм сравнительно с максимальной толщиной сосудов 25 мкм при тангенциальном срезе [3] обеспечивали высокое качество спектров поглощения для исследования деконволюции на гаусс контуры с коэффициентом детерминации (коэффициент достоверности в программе Origin)  $R^2$  от 0.999... до 1.0. Образцы натуральной древесины (заболонь) брались в спилах для ИК спектров. Методика исследования описывалась также в предыдущих работах авторов по данной тематике (см. [4] и ранее [5]). Образцы не высушивались, брались при нормальных условиях.



**Рис.1.** Инфракрасный спектр древесины березы, заготовленной в зимний период

### Анализ образцов древесины березы, заготовленной зимой



**Рис.2.** Фрагмент ИК- спектра образца и деконволюция (разложение на 9 гаусс контуров) древесины березы, собранной зимой

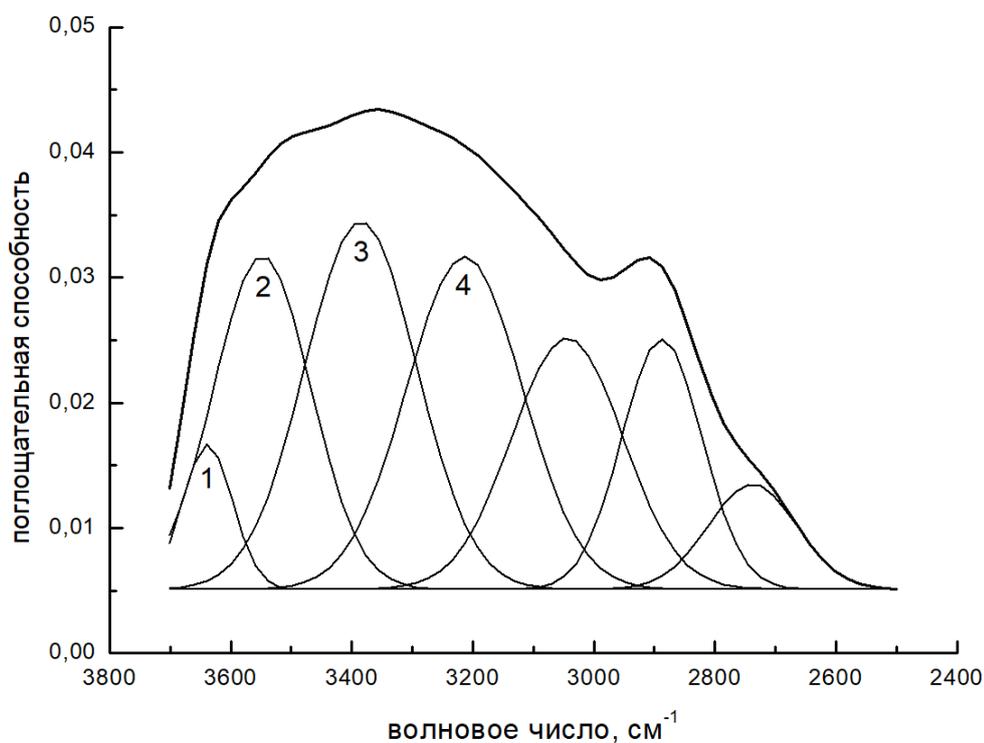
Цифрами на рис.2 обозначены: 1 – гауссов контур слабой связи, 2 и 3- гауссовы контуры внутримолекулярной связи, 4 - гауссов контур межмолекулярной связи (диапазон указан в табл.1). Данные таблицы 1 определены деконволюцией (рис.2). Формулы для расчета длины связи и энергии взяты из [1], [5].

**Береза (зимние образцы древесины). Деконволюция на 9 гаусс контуров  $R^2=1$  коэффициент детерминации при деконволюции спектра.**

Максимум гаусс контура, $\text{см}^{-1}$	Площадь гаусс контура	Плотность Н-связи относительная, %	Длина Н-связи d, нм	Сдвиг-макс. гаусс контура, $\text{см}^{-1}$	Энергия Н связи, кДж/моль	Тип Н-связи
3645	0,77	7	0,328	5	4,502	Слабая
3564	1,6	15	0,290	86	3,008	Внутримолекул. $\text{O}(\text{C}_2)\text{H}-\text{O}(\text{C}_6)$
3435	3,1	29	0,278	215	12,802	Внутримолекул. $\text{O}(\text{C}_3)\text{H}-\text{O}(\text{C}_5)$
3260	3,36	31	0,270	390	21,832	Межмолекулярная $\text{O}(\text{C}_6)\text{H}-\text{O}(\text{C}_3)$

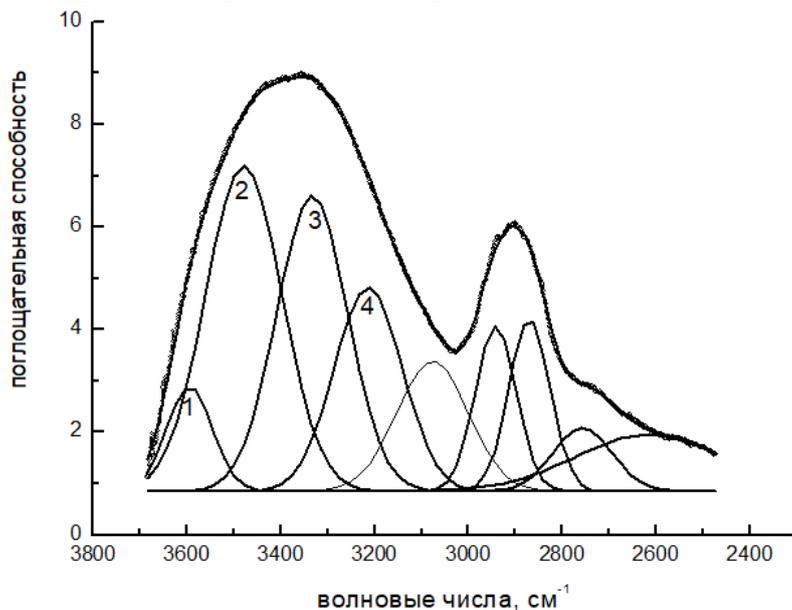
В таблице 1 приведены данные по рис.2, в дальнейшем приводим рисунки по сезонам года: лето и весна для древесины березы.

**Анализ образцов древесины березы, заготовленной летом**



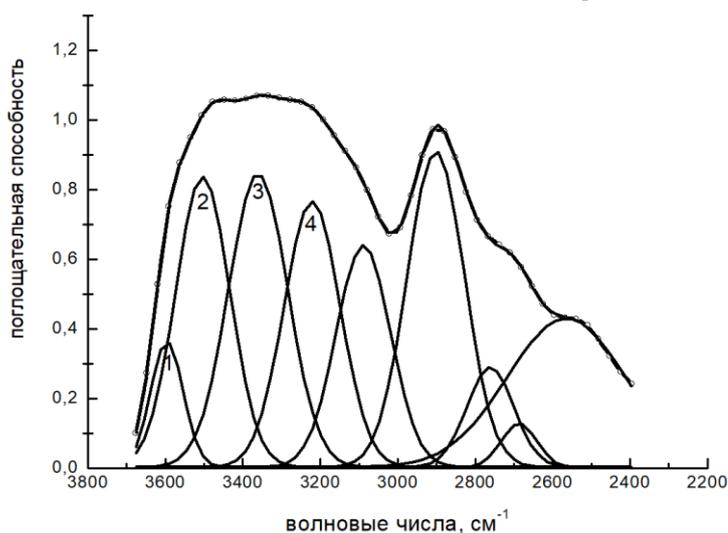
**Рис.3.** Фрагмент ИК- спектра образца и деконволюция (разложение на 7 гаусс контуров) березы летней

## Анализ образцов древесины березы, заготовленной весной



**Рис.4.** Фрагмент ИК- спектра образца и деконволюция (разложение на 9 гаусс контуров) березы весенней в сокодвигении

## Анализ технической беленой целлюлозы из древесины

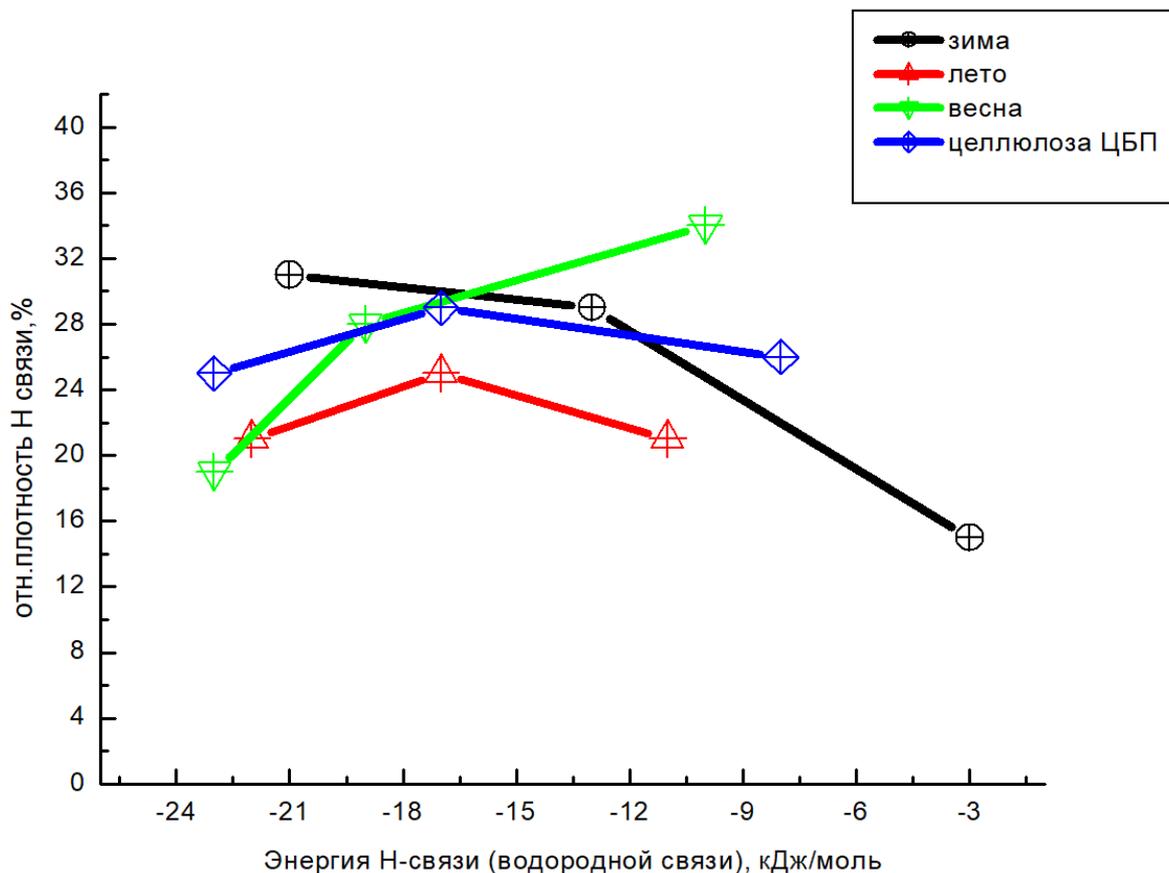


**Рис.5.** Фрагмент ИК- спектра образца и деконволюция (разложение на 9 гаусс контуров) технической белёной целлюлозы

Цифрами на рис.5 обозначены: 1 – гаусс контур слабой связи (3595 см<sup>-1</sup>), 2 и 3- гаусс контуры внутримолекулярной связи (3504 см<sup>-1</sup>) и 3361 см<sup>-1</sup> (волновые числа), соответственно, 4 – гаусс контур межмолекулярной связи (3221 см<sup>-1</sup>), остальные гаусс контуры (3095 см<sup>-1</sup> и далее) не исследуются в данной работе, т.к. не относятся к Н-связи (см. табл.2). Ниже приводятся данные таблицы 2, определенные при помощи деконволюции спектра (рис.5).

## Результаты исследования.

На рис.6 показана зависимость от энергии связи целлюлозосодержащих сезонных (зима, лето, весна - сокодвижение в Лен.обл.22апр.2019 года) образцов выдержанной естественной древесины берёзы, и белой целлюлозы на ЦБК Светогорска, Смолен А.С. (зима 2020 г. [6]).



**Рис.6.** Плотность 3-трех типов Н-связи (водородной связи ОН гидроксильных групп, охваченных Н-связью) в зависимости от потенциальной энергии Н-связи

## Выводы.

В данной работе было выполнено сравнение показателей деконволюции современного метода исследования ИК-спектроскопии водородных связей гидроксильных групп ОН.

Одним из показателей, используемых в сравнении методов, является коэффициент детерминации, который является мерой достоверности полученных результатов. В данном исследовании, значение коэффициента детерминации у образцов составляет 0,999, что указывает на высокую степень корреляции со спектральными линиями образцов.

В зимний период (рис.6) достигается максимальная плотность Н-связей (тип связи межмолекулярная) в древесине березы.

### Библиографический список

1. Наркевич И.А. Мы сторонники технологического суверенитета // Санкт-Петербургский вестник высшей школы. №10 (188) декабрь, 2022. с.2-3.
2. Мельничук И.А. Будущее лесов России зависит от нас // Санкт-Петербургский вестник высшей школы. №5 (193) май, 2023. с.2-3.
3. Ильинова Ю.Г., Пухакайнен Ю.А., Давыдова Е.М. Управление проектами в фармацевтической индустрии (обзор литературы). //Иновационные технологии, экономика и менеджмент в промышленности: сборник научных статей XI международной научной конференции. 18-19 ноября 2021 г. Часть 2. - Волгоград: ООО «Конверт», - 2021. с. 70-75.
4. Марк Палаи. На пути к европейской стратегии по созданию биоэкономики замкнутого цикла. Европейский институт леса. – <https://www.efi.int>.
5. «Аметис-Фарм» займётся производством антиоксидантов и пребиотиков из лиственницы // Журнал «ЛПК Сибири», июнь 2023. – <https://www.lpk-sibiri.ru>.
6. Эндрю Д. Скибо Цепочки поставок фармацевтической продукции: впереди кардинальные изменения // ISPE объединение фармацевтических знаний – <https://ispe.org/pharmaceutical-engineering/may-june-2018/pharma-supply-chains-dramatic-changes-ahead>.
7. Екшикеев Т.К. Реализация информационно-аналитических моделей инновационных фармацевтических процессов: сетевое планирование и управление. –М.: Кнорус М, 2019. – 252 с.
8. Екшикеев Т.К., Коваленко В.В. Актуальные вопросы финансирования R&D разработок в фармацевтической отрасли России // Медико-фармацевтический журнал Пульс. – 2020. – Т.22, № 6. – С.111-114.
9. Практические руководства и инструкции PMI: Project Management Institute – <https://www.pmi.org/pmbok-guide-standards>.
- 10.1Екшикеев Т.К. Экономика и инновации - М.: ГЭОТАР-Медиа, 2019. – <http://www.studmedlib.ru/book/06-COS-2427.html>.
- 11.ISPE – Eurasian Economic Union Affiliate: руководящие документы. – <https://ispe.ru/category/publications>.

**А.И. Попов**, студент 4 курса ИСиТ  
Кафедра информационных систем и технологий  
СПбГЛТУ им. С.М.Кирова  
lublu.lug@yandex.ru

**Н.В. Меламед**, кандидат технических наук, доцент  
Кафедра информационных систем и технологий  
СПбГЛТУ им. С.М.Кирова  
natali@melamed.su

## **ОБЗОР МЕТОДИКИ УЧЁТА И АНАЛИЗА ПАРТИЙ КРУГЛОГО ЛЕСА С ПРИМЕНЕНИЕМ ЦИФРОВОЙ ОБРАБОТКИ ИЗОБРАЖЕНИЙ**

### **AN OVERVIEW OF THE METHODOLOGY FOR ACCOUNTING AND ANALYSIS OF ROUNDWOOD LOGS USING DIGITAL IMAGE PROCESSING**

***Аннотация:** Статья представляет обзор современных методик учета и анализа партий круглого леса с использованием цифровой обработки изображений. Рассматриваются различные подходы к сбору и обработке данных, включая методы компьютерного зрения и машинного обучения.*

***Annotation:** The article provides an overview of modern methods for accounting and analyzing roundwood batches using digital image processing. Various approaches to data collection and processing are considered, including computer vision and machine learning methods.*

***Ключевые слова:** круглый лес, лесозаготовки, машинное обучение, компьютерное зрение.*

***Keywords:** roundwood, logging operations, machine learning, computer vision.*

#### **Введение.**

Лесная отрасль играет важнейшую роль в жизни человека. К сожалению, большинство процессов лесозаготовок с трудом поддаются автоматизации, так как из-за удаленности производства и невозможности создать информационную инфраструктуру, множество работ осуществляются вручную, без применения информационных систем.

На всех предприятиях лесного комплекса ведется многократное измерение круглого леса. Зачастую, такой процесс сопровождается с использованием ручного труда по межгосударственным стандартам. К таким стандартам относится ГОСТ 32594-2013. [1] Он устанавливает правила для поштучных и групповых измерений и определения объемов круглых лесоза-

материалов. Выбор метода основывается исходя из требуемой точности определения объема лесоматериалов.

Однако методы ручного измерения круглых лесоматериалов имеют ряд недостатков. При больших объемах древесины, во много раз возрастают время и усилия для измерения лесоматериалов. Вручную достаточно сложно достичь одинаковой точности в измерениях для разных оценщиков или в разные моменты времени. Также не стоит забывать о человеческом факторе: измерения могут быть неточными из-за неопытности, усталости или невнимательности работника.

С данными проблемами может помочь справиться метод измерения круглого леса с применением алгоритмов машинного обучения и цифровой обработки изображения.

### **Анализ текущих методов измерения объемов круглого леса**

Чтобы оценить необходимость ввода в лесную отрасль информационных систем, рассмотрим некоторые методы ручные методы измерения круглого лесоматериала.

#### **1. Поштучное измерение диаметра в верхнем торце**

Данный метод является одним из основных способов получения точных данных о диаметре стволов древесины. Он основан на определении диаметра древесины в верхнем торце ствола с помощью специальных инструментов.

К плюсам данного метода можно отнести:

- 1) точность – позволяет получать точные данные;
- 2) надежность – при корректных измерениях обеспечивает достоверные результаты;
- 3) простота – метод относительно прост и не требует специальных навыков;
- 4) универсальность - метод подходит для измерения различных типов древесины.

Минусы:

- 1) ограничения – метод не позволяет оценить диаметр ствола во всех точках;
- 2) возможность ошибок – неправильное использование инструмента или некорректное проведение измерений может привести к ошибкам;
- 3) времязатратность – большой объем древесины увеличивает время измерения;
- 4) необходимость специального оборудования.

#### **2. Метод концевых сечений**

Метод концевых сечений основан на измерении диаметра в верхнем и нижнем торцах и длины бревна. При этом, объем измеряемого бревна можно определить по формуле:

$$V = \frac{\pi(d^2 + D^2)}{8 * 1000}$$

где  $d$  и  $D$  – диаметр бревна в верхнем и нижнем торцах, см;  $L$  – длина бревна, м.

### **3. Измерение объема методом гидростатического взвешивания**

Данный метод основан на принципе силы Архимеда, которая гласит о том, что на тело, погруженное в жидкость, действует выталкивающая сила, численно равная весу объема жидкости, вытесненного телом. Само измерение проходит в несколько этапов:

- 1) подготовка бревна – удаление коры, сучьев и загрязнений для точности измерений;
- 2) погружение в воду;
- 3) измерение смещения воды;
- 4) расчет объема древесины.

Рассмотренные методы имеют как свои плюсы, так и недостатки. К плюсам можно отнести относительную простоту измерений, когда процесс не требует каких-то профессиональных навыков. Универсальность, т. е. данные методы подходят ко многим видам древесины. Надежность, если все измерения были проведены корректно по всем правилам.

К сожалению, данные плюсы перекрываются большими минусами. Главный из них – это огромная затрата времени, усилий и человеческих ресурсов при проведении измерений, а следовательно, возрастают затраты денег на зарплаты и закупку специального оборудования. Также нельзя забывать о человеческом факторе, из-за которого может повыситься погрешность в измерениях.

Из всего выше перечисленного можно сделать вывод, что лесная отрасль нуждается в проведении автоматизации с применением информационных систем и технологий.

### **Методика измерения круглого лесоматериала, с использованием машинного обучения**

Методика определения диаметров и объемов круглых лесоматериалов может быть использована на разных стадиях заготовки и обработки лесоматериалов для контроля и учета заготовленной древесины. Методика заключается в том, что делается два снимка штабеля с бревнами: фронтальный и вид сбоку. Далее идет оцифровка и обработка снимков специализированным программным обеспечением. Когда мы говорим об использовании машинного обучения и компьютерного зрения для различения бревен на фотографиях, мы имеем в виду обучение компьютерной модели на большом наборе изображений бревен. Эти изображения могут содержать различные типы бревен, разные углы съемки, разные освещенные условия и т. д.

Процесс обучения начинается с того, что на вход модели подается множество фотографий бревен, а также указывается, какие из этих фотографий соответствуют какому типу бревен. Например, можно разделить их на категории по диаметру, типу дерева или другим характеристикам.

С помощью машинного обучения модель начинает искать закономерности и особенности на изображениях, которые позволяют ей различать разные типы бревен. Это могут быть различные текстурные особенности, формы, цвета и так далее.

После завершения обучения модель уже может использоваться для анализа новых изображений бревен. Если подать на вход модели новое изображение, она анализирует его и, основываясь на знаниях, полученных в процессе обучения, делает вывод о том, к какому типу бревен оно относится.

Таким образом, машинное обучение и компьютерное зрение позволяют создать автоматическую систему, способную различать бревна на фотографиях без необходимости вручную задавать характеристики каждого бревна.

### Анализ готовых решений

Измерения круглого леса фотометрическим методом – это активно развивающаяся технология. С развитием компьютерного зрения и машинного обучения появилась возможность разработать такое приложение, с помощью которого можно легко измерить штабели бревен, не прибегая к ручному труду. На момент написания данной статьи существует несколько программных обеспечений, которые используют рассматриваемую методику.

Таблица 1

**Сравнительная таблица программного обеспечения для измерения круглого леса фотометрическим методом**

	Timbeter	Smart Timber	NeuroWood	MBLiTE
Год выпуска	2016	2022	2022	2023
Платформа	Компьютерное приложение, мобильное приложение	Мобильное приложение, веб-приложение	Мобильное приложение	Мобильное приложение
Доступность на территории РФ	Не доступно	Доступно	Доступно	Доступно
Стоимость	Бесплатная пробная версия, платные тарифы	Бесплатная пробная версия, платные тарифы	Бесплатная пробная версия, платные тарифы	Бесплатно
Основные функции	Измерения объемов и количества круглых лесоматериалов	Оценка объемов круглых лесоматериалов	Определение количества, объема бревен и сортность древесины	Измерение объемов круглых лесоматериалов
Дополнительные особенности	Возможность исключить низкосортную древесину	Возможность выделиться специальный сервер для компании	Возможность работы с такими программами, как 1С, SAP	Генерация отчетов и аналитика
Минусы	Невозмож-	Изначальная	Отсутствие	Неудобный

	ность использования на территории РФ	разработка для компании «Шмидт и Олофсон». Дорогой тарифный план	настольно-го/веб-приложения	пользовательский интерфейс. Редкие обновления
--	--------------------------------------	--	-----------------------------	---

Рассмотренные приложения позволяют сократить время на поштучное измерение в 10-15 раз, при штабельном в 2-3 раза. При правильном определении объемов штабелей увеличивается плотность укладки грузов, что ведет к увеличению разгрузки транспорта. Снижается время простоя машин и механизмов. Повышается точность, улучшаются условия труда. Все эти факторы положительно влияют на развитие и заработок в лесной отрасли.

Так как Российская Федерация является одним из крупнейших экспортеров древесины и круглого леса, [2] требуется большее развитие фотометрического метода, а именно: увеличение точности, уменьшение времени задержки, снижение ошибок при измерениях и добавление новых функций. В целом, автоматизация измерений круглого леса является важным шагом для повышения эффективности, точности и устойчивости лесоуправления в России, что в конечном итоге способствует улучшению управления лесными ресурсами и сохранению лесного наследия для будущих поколений.

### **Библиографический список.**

1. Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов: ГОСТ 32594-2013 [Электронный ресурс]. Режим доступа - <https://docs.cntd.ru/document/1200108364> (Дата обращения 16.02.2024)
2. Продовольственная и сельскохозяйственная организация Объединенных Наций: Торговля лесной продукцией. Крупнейшие страны-экспортеры лесной продукции [Электронный ресурс]. Режим доступа - <https://www.fao.org/forestry/statistics/80938@180724/ru/> (Дата обращения 18.02.2024)
3. Ассоциация производителей машин и оборудования лесопромышленного комплекса [Электронный ресурс]. Режим доступа - <https://alestech.ru/> (Дата обращения 18.02.2024)

**А.С. Скубак**, магистрант  
Кафедра информационных систем и технологий  
СПбГЛТУ им. С. М. Кирова  
MeatBoy27@yandex.ru

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

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПРАКТИЧЕСКОГО ПРИМЕНЕНИЯ ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ ВЫБОРА КООРДИНАТОРОВ В БЕСПРОВОДНЫХ СЕНСОРНЫХ СЕТЯХ (БСС) КЛАСТЕРНОЙ АРХИТЕКТУРЫ**

### **INVESTIGATION OF THE POSSIBILITIES OF PRACTICAL AP- PLICATION OF THE APPLICATION FOR THE SELECTION OF CO- ORDINATES IN WIRELESS SENSOR NETWORKS (WSN) OF A CLUSTER ARCHITECTURE**

***Аннотация:** В статье рассматриваются возможности практического применения разработанного приложения выбора головного узла в беспроводных сенсорных сетях кластерной архитектуры. Произведены вычисления по выбору головного узла на основе синтетических данных для анализа эффективности применения приложения.*

***Abstract:** The article discusses the possibilities of practical application of the developed head node selection application in wireless sensor networks of cluster architecture. Calculations were made on the choice of the head node based on synthetic data to analyze the effectiveness of the application.*

***Ключевые слова:** БСС, координатор, беспроводные сенсорные системы, разработка, приложение, кластерная архитектура.*

***Keywords:** BSS, coordinator, wireless sensor systems, development, application, cluster architecture.*

#### **Введение.**

Технология БСС предназначена для сбора удаленного сбора информации с минимальной необходимостью вмешательства человека. Данная технология может применяться в различных сферах: мониторинг лесных экосистем, отслеживание изменений на удаленных опытных площадках, а также для сбора статистических данных.

Для взаимодействия с беспроводными сенсорными устройствами существует множество различных технологий и протоколов. Наиболее

«продвинутые» протоколы основаны на сетях стандарта IEEE 802.15.4, среди которых наиболее перспективным является протокол DigiMesh. [1]

Протокол DigiMesh позволяет строить mesh-сети, где головным узлом кластера может стать любое устройство, в зависимости от текущих условий и состояния устройств. Также стоит отметить, что устройства, работающие с протоколом DigiMesh могут как находиться в активном режиме, необходимом для осуществления работы (сбор и передача информации), так и в режиме сна (получение информации). За счет этого система способна более эффективно расходовать запас электроэнергии и, следовательно, увеличивать продолжительность ее автономного функционирования. Одной из главных задач при построении БСС, основанной на протоколе DigiMesh, является выбор методики подбора головного узла кластера, с которого впоследствии будет передаваться информация на следующие по иерархии головные узлы и далее на базовую станцию.

Было разработано приложение, основанное на графовой модели, которое решает данный вопрос и позволяет определять головные узлы кластеров на основе данных о конфигурации и состоянии системы наиболее эффективно, независимо от объема вносимых значений.

### **Постановка задачи.**

Целью данной работы является изучение области применения разработанного приложения и возможности его практического использования, а также проверка его работоспособности и дополнительное тестирование с более полным набором данных о структуре сети.

*Материалы и методика исследования.* Объектами исследования были выбраны: модули XBEE Series 2 (табл.1) [2], область Курортного лесопарка, набор синтетических данных, программное обеспечение «Определение головного узла».

Таблица 1

**Характеристики модуля XBee Series 2**

Дальность действия, м	До 120
Скорость радиоканала, бит/с	250,000
Напряжение питания, Вт	2,1-3,6
Ток при передаче, мА	35
Ток при приеме, мА	38
Ток в режиме сна, мкА	<1

Для тестирования приложения подбора головных узлов кластеров была выбрана территория Курортного лесопарка, где влияние внешних факторов минимально. Поскольку нивелировать влияние извне полностью невозможно, дальность действия передатчиков для исследования будет принята за 100 метров.

Датчики были распределены равномерно по территории 0,02 км<sup>2</sup>. Модулируется ситуация, при которой у датчиков осталось различное коли-

чество заряда. Необходимо осуществить перевыборы головного узла кластера. Уровень заряда устройств в кластере приведен в таблице 2.

Таблица 2

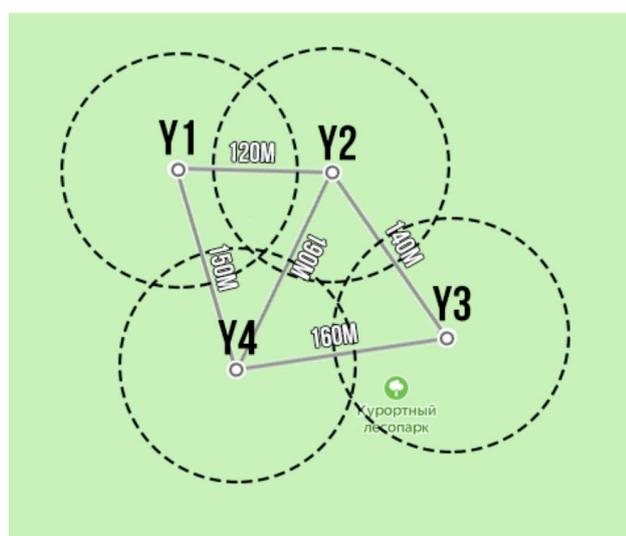
**Наименование узлов и их остаточный уровень заряда в % соотношении**

Устройство 1	23%
Устройство 2	89%
Устройство 3	45%
Устройство 4	33%

Устройства были распределены по всей территории, однако их расположение было обусловлено также и особенностями местности, поэтому некоторые устройства могут быть расположены более удачно (связаны с большим количеством участников кластера), а некоторые менее (связаны с меньшим количеством участников кластера). Стоит отметить, что, благодаря особенности перемещения информации в mesh-сети, устройствам не обязательно находиться в радиусе достижения сигнала друг друга, они могут передавать информацию через ближайший доступный узел.

**Результаты исследования.**

Для наглядности была создана схема расположения узлов, где обозначены наименования узлов (Y1 – Y4), радиусы действия сигнала (пунктирная линия) и расстояния между ними (подписи над светлыми линиями).



**Рис. 1.** Расположение устройств и области распространения их сигнала

Были составлены матрицы минимальных путей. Для их составления определены значения вершин графа, а также соответствующие значения расстояний.

Требуется математически преобразовать расстояние между узлами и остаточный заряд в условные единицы, которые будут впоследствии использоваться для вычислений.

Исходя из изначальных данных, в сети используются одинаковые устройства, следовательно, объем их аккумуляторов идентичен. Поэтому нормализация данных этого параметра не требуется. Расстояние между узлами математически преобразовано. Ввиду отсутствия в данном исследовании дополнительных внешних факторов, которые могли бы повлиять на взаимосвязь узлов, расстояние между ними будет делиться на 10 для приведения к единой размерности с предыдущим параметром. На основании преобразованных данных была составлена матрица минимальных путей (рисунок 2).

$q_k$	$\longrightarrow$	23	89	45	33
	$\downarrow$	$Y_1$	$Y_2$	$Y_3$	$Y_4$
23	$Y_1$	0	12	26	15
89	$Y_2$	12	0	14	19
45	$Y_3$	26	10	0	16
33	$Y_4$	15	4	16	0

Рис. 2. Матрица минимальных путей

Были вычислены внутренние и внешние передаточные числа для вершин графа кластера. Определены внутренние передаточные числа.

$$F(Y_1) = 0 * 23 + 12 * 89 + 26 * 45 + 15 * 33 = 2733$$

$$F(Y_2) = 12 * 23 + 0 * 89 + 14 * 45 + 19 * 33 = 1533$$

$$F(Y_3) = 26 * 23 + 10 * 89 + 0 * 45 + 16 * 33 = 2016$$

$$F(Y_4) = 15 * 23 + 4 * 89 + 16 * 45 + 0 * 33 = 1421$$

Следующим шагом вычислены внешние передаточные числа.

$$\Psi(Y_1) = 0 * 23 + 12 * 89 + 26 * 45 + 15 * 33 = 2733$$

$$\Psi(Y_2) = 12 * 23 + 0 * 89 + 10 * 45 + 4 * 33 = 858$$

$$\Psi(Y_3) = 26 * 23 + 14 * 89 + 0 * 45 + 16 * 33 = 2373$$

$$\Psi(Y_4) = 15 * 23 + 19 * 89 + 16 * 45 + 0 * 33 = 2756$$

Далее среди передаточных чисел выбрано минимальное для определения внешней и внутренней медианы: для кластера внешняя медиана  $Y_2$ , внутренняя  $Y_4$

Для определения медианы графа найдены суммы соответствующих передаточных чисел:

$$F(Y_1) + \Psi(Y_1) = 2733 + 2733 = 5466$$

$$F(Y_2) + \Psi(Y_2) = 1533 + 858 = 2391$$

$$F(Y_3) + \Psi(Y_3) = 2016 + 2373 = 4389$$

$$F(Y_4) + \Psi(Y_4) = 1421 + 2756 = 4177$$

В результате вычислений необходимо выбрать наименьшее значение. Наименьшим является 2391, а, следовательно, координатором в данных условиях должен быть координатор номер 2.

Матрица минимальных путей и вес головных узлов, использовавшиеся в расчетах, были внесены в программу для проверки корректности её работы (Рисунок 5).

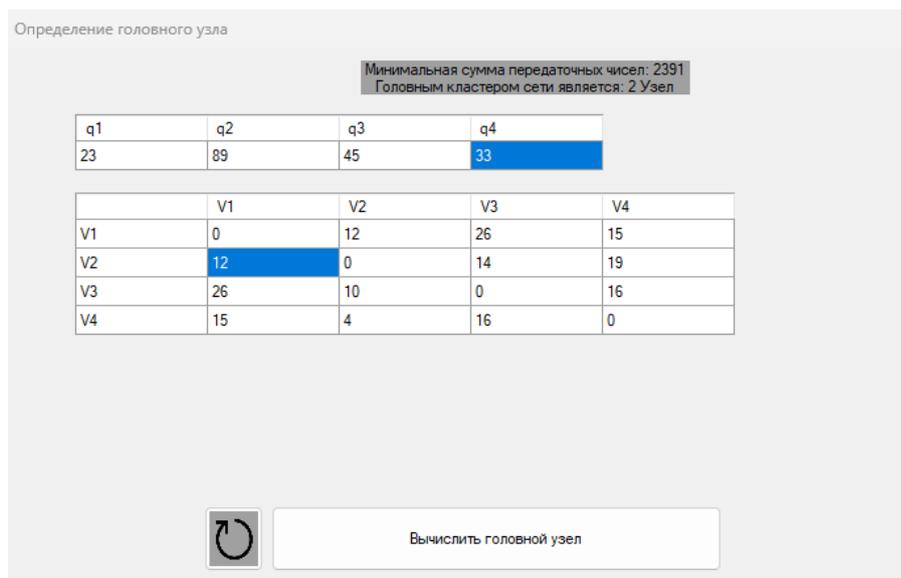


Рис. 5. Проверка работы программы

По результатам работы программы видно, что после всех проведенных расчетов был выбран узел №2, что совпадает с теоретическими расчетами. При необходимости исследования кластера большего или меньшего размера, в программе предусмотрено изменение количества узлов, что делает возможным использование данного приложения для работы с кластерами различных конфигураций [3].

### Выводы.

Синтетические данные были получены на основе уровня заряда устройств и расстояний между узлами, которые были дополнены определенными особенностями координаторов, а также факторами местности. Можно сделать определенные выводы о работе разработанного приложения по выбору координаторов: приложение работает корректно, результат вычислений совпадает с теоретическими расчетами. В случае необходимости, вводимые данные можно расширить, добавив дополнительные узлы и сделав перевыборы головного узла.

### Библиографический список

1. А. М. Заяц, С. П. Хабаров. Беспроводные сенсорные сети в лесном хозяйстве: учебное пособие для СПО –Санкт-Петербург, 2022. –128с.
2. Обзор оборудования для построения сенсорных сетей // Режим доступа: [studentopedia.ru/tehnika/obzor-oborudovaniya-dlya-postroeniya-sensornih-setej--obshaya-informaciya-o-modulyah-хbee-series-2--.html](http://studentopedia.ru/tehnika/obzor-oborudovaniya-dlya-postroeniya-sensornih-setej--obshaya-informaciya-o-modulyah-хbee-series-2--.html) // (Дата обращения 13.02.2024).
3. Скубак, А. С. Разработка приложения выбора координаторов в беспроводных сенсорных сетях кластерной архитектуры / Актуальные вопросы лесного хозяйства: материалы VI международной молодежной научно-практической конференции, Санкт-Петербург, 10–11 ноября 2022 года / Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова. – СПб: ООО «Реноме», 2022. – С. 263-269.

**А.С. Скубак**, магистрант  
Кафедра информационных систем и технологий  
СПбГЛТУ им. С. М. Кирова  
MeatBoy27@yandex.ru  
**С.П. Хабаров**, кандидат технических наук, доцент  
СПбГЛТУ им. С. М. Кирова  
serg.habarov@mail.ru

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПРИМЕНЕНИЯ NFC МЕТОК

### INVESTIGATION OF THE POSSIBILITIES OF USING NFC TAGS.

***Аннотация:** NFC технологии достаточно плотно вошли в жизни людей по всему миру. NFC Модули устанавливаются почти во все телефоны, с их помощью происходит огромное количество транзакций по всему миру. Однако, варианты использования технологии NFC не ограничиваются исключительно транзакциями, в статье будет разобрано как и зачем применять NFC технологии в быту.*

***Abstract:** NFC Technologies have become a part of people's lives all over the world. NFC modules are installed in almost all phones, with their help a huge number of transactions take place all over the world. However, the options of using NFC technology are not limited to transactions only, the article will show how and why to use NFC technology in everyday life.*

***Ключевые слова:** NFC технология, метка, радио сигнал, бесконтактные устройства.*

***Keywords:** NFC technology, tag, radio signal, contactless devices.*

#### **Введение.**

Технология NFC предназначена для обмена различной информацией, например, номерами телефонов, картинками, музыкальными файлами или ключами цифровой авторизации между двумя расположенными близко друг к другу устройствами с поддержкой NFC. Это могут быть любые портативные устройства, а также смарт-карты или считывающие устройства RFID. Данная технология может использоваться в качестве ключа доступа к данным или сервисам, таким как безналичная оплата или электронный замок.

Центральная частота NFC равна 13,56 МГц. Скорость передачи данных достигает 424 кбит/с на расстоянии примерно 10 см. В отличие от существующих технологий бесконтактной связи на данном диапазоне частот, которые позволяют передавать информацию только от активного устройства пассивному, NFC обеспечивает обмен между двумя активными (рав-

ноправными) устройствами. Таким образом, NFC можно использовать для доступа к устройствам радиочастотной идентификации RFID. [1]

NFC технология известна в обществе только как технология бесконтактной оплаты, однако возможности ее применения намного шире. Она может применяться для контроля доступа, например, для умных замков или домофонов, для передачи настроек, сбора оплаты в общественном транспорте, обмена данными.

### **Постановка задачи.**

Целью данной работы является изучение области применения NFC меток, их практическое применение в различных условиях, а также их использование для последующего улучшения научно-технического оснащения кафедры. Дополнительно изучены возможности взлома и защиты от несанкционированного доступа.

*Материалы и методика исследования.* Объектами исследования были выбраны: смартфон Google Pixel 7 с установленным NFC считывателем и NFC метки Mifare Ultralight (табл.1).

Таблица 1

#### **Характеристики NFC метки Mifare Ultralight**

Рабочая частота, МГц	13,56
Тип	ISO 14443 A
Объем памяти, Байт	137
Количество циклов чтения	100000
Диаметр, мм	25

Для определения возможности работы в различных условиях, затрудняющих распространение сигнала, были использованы следующие материалы: офисная бумага (плотность 180г / м<sup>2</sup>), картон (плотность 350г/ м<sup>2</sup>), пищевой пластик (толщина 0,2мм), алюминиевая фольга (толщина 0,1мм). Измерение расстояния взаимодействия считывающего устройства с меткой производилось при помощи линейки с делением 0,5мм.



**Рис. 1.** Расстояние взаимодействия между смартфоном и NFC меткой

Было произведено 5 измерений с применением вышеописанных материалов для определения рабочего расстояния считывания NFC метки. Для изучения области применения и возможности улучшения научно-технического оснащения кафедры при помощи программного обеспечения

NFC Tools было запрограммировано 3 NFC метки. В метку №1 был записан текст, в метку №2 ссылка на актуальное расписание занятий, в метку №3 ссылка ведущая на архив сборников кафедры.

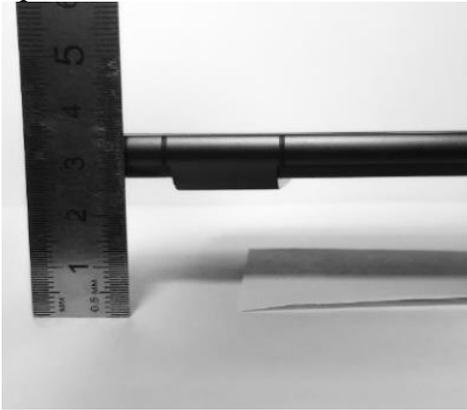
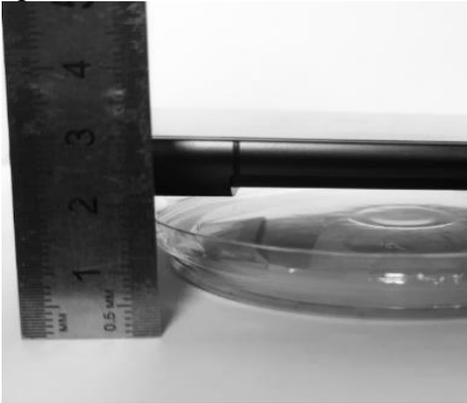
### Результаты исследования.

При отсутствии факторов, препятствующих распространению сигнала, считывание информации происходит на расстоянии 3,5см от метки (Рисунок 1).

При ограничении распространения сигнала различными материалами рабочее расстояние считывание информации изменялось в зависимости от условий эксперимента. Результаты измерений представлены в табл. 2.

Таблица 2

Сводная таблица измерений рабочих расстояний

<p>Офисная бумага (плотность 180г / м2), Рабочее расстояние - 3,5</p> 	<p>Картон (плотность 350г/ м2) Рабочее расстояние - 3,1-3,2 см</p> 
<p>Пищевой пластик (толщина 0,2мм), Рабочее расстояние - 2,5 см</p> 	<p>Алюминиевая фольга (толщина 0,1мм). Сигнал не проходит</p> 

Из табл. 2 видно, что бумага не препятствует распространению сигнала. Картон и пищевой пластик затрудняют считывание информации с NFC метки. Необходимо считывающее устройство размещать ближе к

метке. Алюминиевая фольга полностью блокирует прохождение сигнала, и считывание информации становится невозможным.

Для программирования NFC метки используется программа NFC Tools. При инициализации метки отображается информация о ней, а также варианты взаимодействия. Имеется возможность: считать данные с метки, записать или удалить информацию. По умолчанию метка содержит свой идентификационный номер (UID), который занимает 4 байта памяти. Интерфейс программы приведен на рисунке 3.

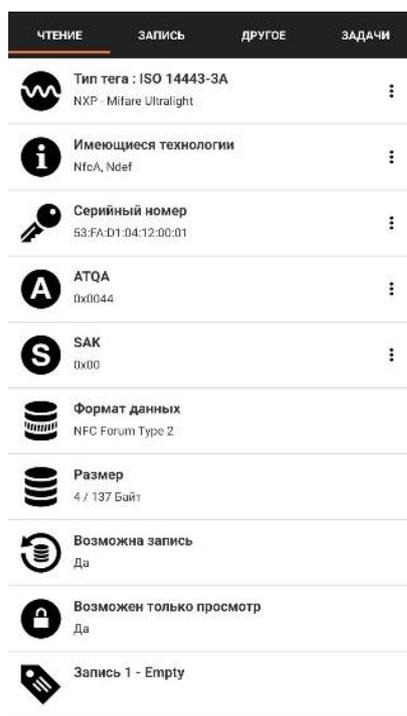


Рис. 3. Интерфейсы вкладок программы NFC Tools

Для записи информации на метку надо воспользоваться вкладкой “Запись”. Различные типы записываемой информации и их практическое применение приведены в табл. 3.

Таблица 3

### Варианты записи данных на NFC метку

Тип записи	Описание	Практическое применение
Текст	При активации метки выводится заданный текст	Возможность создание интерактивных визиток / интерактивных плакатов
URL (Все виды)	Ссылка на интернет-страницу	Возможность автоматического перехода на заданный интернет ресурс
Email	Создание шаблона письма	Функция, автоматизирующая написание писем. Шаблон могут использовать множество пользователей.
Контакт	Добавление контакта в записную книжку	Создание интерактивной визитной карточки, упрощенная передача своего контакта собеседнику.
Номер	Вывод номера телефона	Возможность быстрого доступа к любому

телефона	для звонка	экстренному номеру.
СМС	Заранее заготовленное СМС сообщение	Возможность использования заранее заготовленного шаблона для написания СМС сообщения.
Адрес	Автоматическое создание маршрута	Быстрый доступ до пункта назначения по заданному маршруту.
Просмотр улиц	Открытие 3д панорамы заданной улицы	Визуальное представление адреса помогает найти магазин/офис
Bitcoin	Добавление метки для передачи биткоинов	Автоматический сбор пожертвований в формате биткоинов
Wi-Fi сеть	Автоматическое подключение к WI-FI	Не надо вручную вводить пароль и адрес WI-FI

Для проведения экспериментов было запрограммировано несколько NFC меток, с целью изучения возможностей их практического применения для научно-технического оснащения кафедры.

В ходе эксперимента были проведены сканирования нескольких ранее запрограммированных меток. Сканирование производилось на расстоянии 3,5см, метка была закреплена вертикально. Важно отметить, что фотографии на рисунке 4 приведены для наглядного отображения реального выполнения эксперимента.

На фото под номером 1 была отсканирована метка для вывода на экран всех сборников научных трудов кафедры (сайта), на фото 2 отображено открытие ссылки на учебное расписание, на фото 3 вывод на экран заранее подготовленного текстового сообщения. Вся записанная информация передается без искажений и задержек во времени.

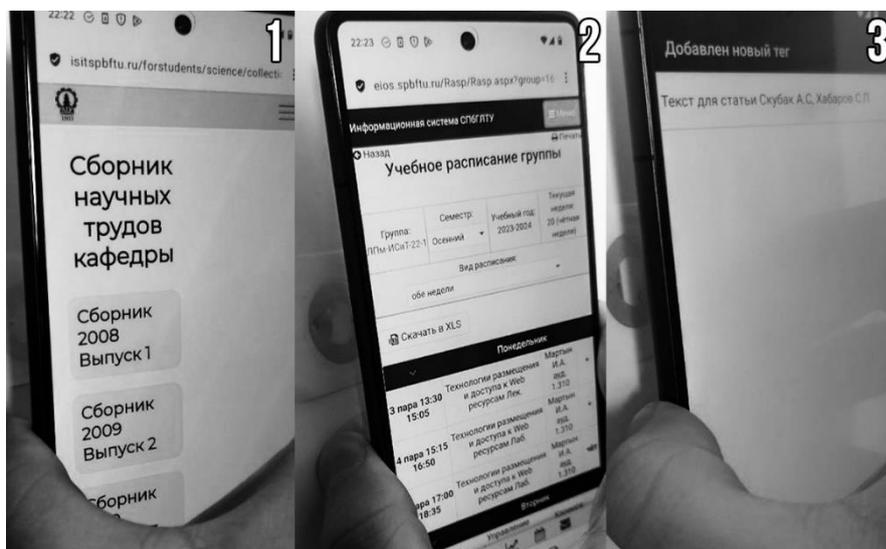


Рис. 4. Пример сканирования запрограммированных NFC меток

Учитывая полученные сведения о проходимости сигнала и информацию из описываемого эксперимента, можно предложить несколько идей о использовании меток для улучшения научно-технического оснащения ка-

федры. Поскольку метки можно закреплять вертикально, а бумага не оказывает сильного влияния на сигнал считывания, их можно использоваться в качестве дополнительного метода распространения информации, интегрируя их в плакаты, информационные листовки или напрямую в бумажное расписание, что увеличит посещаемость данных ресурсов и заинтересованность к ним студентов.

Для изучения возможностей взлома и защиты NFC метки были проанализированы литературные источники. Среди них: прослушивание сигнала, атака типа «Человек посередине», атака модификации данных [3], потеря или кража устройства [4].

Для защиты метки от несанкционированного доступа, в программе NFC Tools присутствуют несколько методов защиты, которые представлены на вкладке «Другое» (рис. 5). Установка пароля позволит защитить метку от редактирования третьими лицами, однако, пароль можно подобрать, и метка будет взломана. Следующим уровнем защиты является блокировка NFC-метки. В случае, если NFC метка будет заблокирована, перезапись данных становится невозможна, что исключает возможность их подмены злоумышленниками.

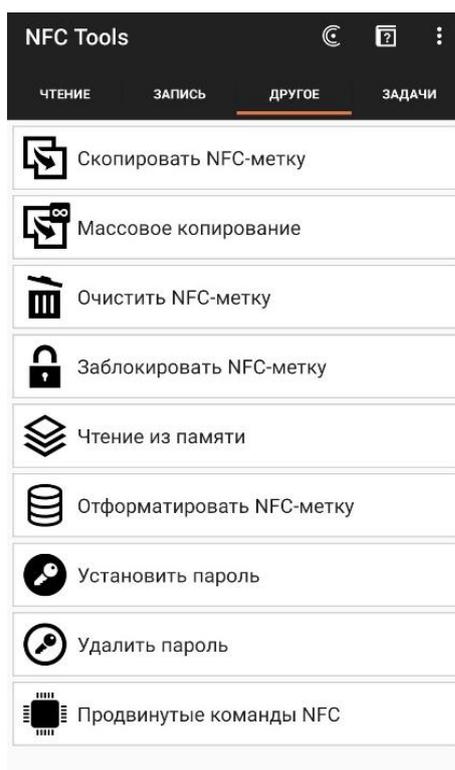


Рис. 5. Интерфейс вкладки «Другое»

## Выводы.

Можно сделать определенные выводы о работе NFC меток: бумага и картон не оказывают значительного влияния на распространение сигнала, что позволяет их использовать, к примеру, для сертификации документов, интегрируя метку в лист бумаги или картона.

Пластик незначительно сокращает дальность взаимодействия, а фольга и вовсе предотвращает распространение сигнала. Использование фольгированного чехла может стать дополнительной степенью защиты от несанкционированного использования NFC меток, так как данный материал полностью блокирует прохождение сигнала.

Программное обеспечение для работы с NFC метками интуитивно понятно и доступно для освоения широкому кругу пользователей. Возможность записи различных типов информации и ее получение без искажений делает NFC технологии отличной возможностью для улучшения научно-технического оснащения кафедр.

Стоимость NFC меток мала, а область их применения обширна. Среди возможностей использования технологии: создание интерактивных информационных стендов, быстрый доступ к получению учебной литературы и научных публикаций, автоматизация рутинных процессов.

Для предотвращения нежелательных действий третьих лиц существует несколько вариантов защиты от перезаписи данных: установка пароля, блокировка NFC метки от записи.

По поводу NFC технологии можно сформировать вполне однозначное мнение, это недооцененная технология, возможности применения которой не до конца раскрыты. Она обладает широким набором разнообразных функций, которые способны облегчить жизнь современному пользователю в различных аспектах жизни.

#### **Библиографический список**

1. Технология NFC – связь на близком расстоянии [Электронный ресурс]. URL: <https://russianelectronics.ru/tehnologiya-nfc-svyaz-na-blizkom-rasstoynanii/> (дата обращения: 29.11.2023)
2. Постников Р. С., Сидоров П. А.. Технология NFC в современном мире. – Научно-образовательный журнал для студентов и преподавателей «StudNet», 2020, №6, с.90–95.
3. Андриянов, Н. А. Протокол NFC и его угрозы / Н. А. Андриянов // REDS: Телекоммуникационные устройства и системы. – 2018. – Т. 8, № 4. – С. 9-10. – EDN YZGMKD.
4. Ревазов, Х. Ю. угрозы при использовании NFC-платежей / Х. Ю. Ревазов // Инновационная наука. – 2019. – № 11. – С. 29-33. – EDN RJHER.

**С.М. Туркин**, аспирант 1-го года обучения  
Кафедра информационных систем и технологий  
СПбГЛТУ им. С.М. Кирова,  
serg.dinamo19@mail.ru

**С.А. Иванов**, кандидат технических наук, доцент  
Кафедра информационных систем и технологий  
СПбГЛТУ им. С.М. Кирова  
kemsit@mail.ru

## **АНАЛИЗ МЕТОДОВ ПОЛУЧЕНИЯ ДАННЫХ ИЗ РАЗНОРОДНЫХ ИСТОЧНИКОВ ДЛЯ ОЦЕНКИ УРОВНЯ ПОЖАРООПАСНОСТИ ЛЕСНОГО МАССИВА**

### **DATA COLLECTION FROM HETEROGENEOUS SYSTEMS AND THE COMPLEXITY OF THEIR INTEGRATION WITHIN LARGE INFORMATION SYSTEMS**

***Аннотация.** В рамках настоящего исследования проведен анализ методов получения данных из разнородных источников с целью возможности применения современных подходов к прогнозированию и мониторингу лесных пожаров. Данная статья рассматривает различные методы и техники сбора данных из разнородных источников для эффективной оценки уровня пожароопасности лесного массива. В контексте современных вызовов, связанных с изменением климата и угрозой лесных пожаров, важно иметь надежные инструменты для анализа и прогнозирования рисков. В статье рассматриваются как традиционные методы, такие как съемка с использованием дистанционного зондирования и дронов, так и инновационные подходы, включая использование данных социальных сетей и сенсорных сетей. Особое внимание уделяется алгоритмам анализа данных и интеграции полученной информации для создания более точных моделей пожароопасности.*

***Abstract:** The article examines the main challenges organizations face when integrating data from various sources into information systems. The article discusses technical, organizational, and semantic aspects of data integration, including diverse data formats, schema and interpretation incompatibilities, as well as the complexities of data harmonization and maintaining integrity. Various approaches to addressing these issues are considered, such as leveraging modern data integration technologies, standardizing data formats and exchange protocols, and applying semantic technologies for automatic data processing and analysis. In conclusion, emphasis is placed on the importance of developing comprehensive and flexible data integration strategies to ensure effective information management in modern information systems.*

**Ключевые слова:** данные из разнородных источников, лесные пожары, мониторинг пожаров, информационные технологии, идентификация пожаров, нейронные сети.

**Keywords:** data from diverse sources, databases, information systems, data structures

## **Введение**

Лесные пожары представляют серьезную угрозу для экосистем, жизненно важных инфраструктурных объектов и человеческих жизней по всему миру. В последние десятилетия частота и интенсивность лесных пожаров значительно возросли из-за изменений климата, неустойчивой экосистемы и антропогенного воздействия. Эти вызовы подчеркивают важность развития эффективных методов анализа данных для оценки уровня пожароопасности лесных массивов и предупреждения о потенциальных возгораниях.

В современном информационном обществе данные о лесных массивах и их окружающей среде доступны из множества разнородных источников. Это включает в себя данные, собранные при помощи дистанционного зондирования, метеорологические наблюдения, информацию, полученную от дронов и аэросъемки, а также данные, собранные с помощью сенсорных сетей и даже социальных сетей. Это богатство информации предоставляет уникальную возможность для анализа и прогнозирования пожароопасности лесных массивов, однако эффективное использование этой информации требует разработки специализированных методов сбора, анализа и интеграции данных.

## **Постановка задачи исследования**

Целью данной статьи является обзор существующих методов получения данных из разнородных источников для оценки уровня пожароопасности лесных массивов. Акцент сделан на анализе различных подходов к сбору и обработке данных, включая их преимущества и ограничения. Данный обзор также направлен на оценку текущих тенденций и перспектив развития области исследований.

## **Обзор методов получения данных**

Исследование данных из разнородных источников для оценки уровня пожароопасности лесного массива включает в себя использование различных объектов, методов исследования и их применение.

*Дистанционное зондирование:*

- объекты исследования: данные, полученные с помощью спутников и аэросъемки, являются важным источником информации о лесном покрове, его состоянии, типе растительности, плотности растительности и других параметрах;

- применение: анализ мультиспектральных изображений, полученных с помощью спутников Landsat, Sentinel и других, позволяет выявить изменения в растительном покрове, которые могут указывать на потенциальные очаги пожаров. Также применяются методы обработки данных LiDAR для оценки структуры леса и определения плотности биомассы.

#### *Использование беспилотных летательных аппаратов (БПЛА):*

- объекты исследования: данные, полученные с помощью БПЛА, предоставляют более высокое пространственное разрешение и могут быть направлены на конкретные участки леса для более детального анализа;
- применение: БПЛА могут использоваться для создания высококачественных изображений и 3D-моделей лесных массивов. Также они могут оснащаться сенсорами для обнаружения тепловых точек, которые могут указывать на наличие возгораний или потенциально опасных участков.

#### *Сенсорные сети и IoT:*

- объекты исследования: установка сенсорных устройств в лесных массивах позволяет непрерывно проводить мониторинг различных параметров, такие как температура, влажность, скорость ветра и качество воздуха;
- применение: данные, собранные с помощью сенсорных устройств, могут быть использованы для создания в режиме реального времени карт пожароопасности. Также алгоритмы анализа данных могут автоматически обрабатывать полученные данные и отправлять предупреждения о потенциальных пожарах или других угрозах.

#### *Социальные сети и геотегированные данные:*

- объекты исследования: данные, полученные из социальных сетей и других онлайн-платформ с геотегированной информацией, могут предоставить дополнительные сведения о возможных источниках пожаров или их последствиях;
- применение: анализ данных из социальных сетей и геотегированных источников позволяет выявить пожарные события, а также оценить их воздействие на окружающую среду и общественное мнение.

Комбинирование этих подходов позволяет создать более полную картину о состоянии лесных массивов и уровне их пожароопасности, что в свою очередь способствует разработке более эффективных стратегий предотвращения и борьбы с лесными пожарами.

### **Анализ методов получения данных**

Использование беспилотных летательных аппаратов с датчиками дыма, газа и температуры для мониторинга лесных пожаров имеет как преимущества, так и недостатки.

Преимущества:

1. быстрое обнаружение пожаров: БПЛА могут быстро охватить большие территории и обнаружить пожары еще на ранних стадиях, что помогает своевременно реагировать на них и предотвращать распространение;
2. доступ к труднодоступным местам: лесные пожары могут начинаться в удаленных или труднодоступных районах. БПЛА могут пролетать над такими местами и обнаруживать пожары там, куда людям трудно добраться;
3. мониторинг пожаров на ранних стадиях: благодаря датчикам дыма, газа и температуры БПЛА могут анализировать данные в реальном времени и предоставлять информацию об интенсивности пожара, его направлении и потенциальных угрозах для окружающей местности;
4. эффективное использование ресурсов: использование автоматизированных систем мониторинга позволяет оптимизировать расход ресурсов, так как они могут работать долгие часы без прерывного присмотра.

Недостатки:

1. точность данных: в некоторых случаях датчики могут давать ложные срабатывания или неполные данные, что может привести к недооценке или переоценке ситуации. Это повышает уровень неопределенности при решении задачи прогнозирования;
2. зависимость от погодных условий: погодные условия, такие как сильный ветер или туман, могут затруднить работу БПЛА или снизить качество получаемых данных;
3. необходимость сложного технического обслуживания: БПЛА требуют регулярного обслуживания и технического обследования, что может быть затруднительно в удаленных районах или в условиях, связанных с чрезвычайными ситуациями;
4. конфиденциальность и безопасность данных: данные, собранные с помощью БПЛА, могут содержать конфиденциальную информацию, требующую защиты от несанкционированного доступа или утечек.

В целом, использование БПЛА с датчиками для мониторинга лесных пожаров является эффективным инструментом, который может значительно улучшить способы обнаружения и борьбы с пожарами, но требует тщательного анализа и оценки преимуществ и недостатков в конкретных условиях.

Использование *беспилотных летательных аппаратов с камерами для распознавания изображений* для мониторинга лесных пожаров имеет ряд преимуществ и недостатков:

Преимущества:

1. высокая точность обнаружения: камеры, оснащенные специализированными алгоритмами компьютерного зрения, могут обеспечить высокую точность обнаружения пожаров за счет анализа различных характеристик огня и дыма;

2. быстрая реакция: БПЛА с камерами позволяют оперативно реагировать на возникновение пожаров, обеспечивая быстрое обнаружение и предотвращение распространения огня;
3. мониторинг в реальном времени: камеры позволяют проводить мониторинг ситуации в реальном времени, что позволяет оперативно анализировать ситуацию и принимать необходимые меры;
4. масштабируемость и доступность: технологии камер и систем анализа изображений становятся все более доступными и масштабируемыми, что делает их применение на БПЛА доступным для широкого круга организаций и учреждений;
5. снижение рисков для персонала: использование БПЛА позволяет проводить мониторинг пожаров без необходимости отправки персонала на опасные территории, что снижает риск для жизни и здоровья работников.

Недостатки:

1. зависимость от условий освещения: в условиях недостаточной освещенности, в том числе ночью, качество изображений может снизиться, что сказывается на эффективности мониторинга;
2. требования к вычислительным ресурсам: обработка изображений на борту БПЛА требует значительных вычислительных ресурсов, что может ограничивать возможности и автономность аппарата;
3. необходимость обучения алгоритмов: для обеспечения высокой точности обнаружения пожаров необходимо обучать алгоритмы компьютерного зрения на большом количестве различных изображений, что требует времени и ресурсов;
4. ограничения в условиях погоды: плохая видимость из-за дождя, тумана или снега может существенно затруднить работу камер и уменьшить эффективность мониторинга;
5. конфиденциальность данных: обработка изображений может повлечь за собой сбор и хранение большого объема данных, что создает риски в области конфиденциальности и безопасности информации.

Несмотря на некоторые ограничения, БПЛА с камерами для анализа изображений представляют собой мощный инструмент для мониторинга лесных пожаров, который обеспечивает высокую точность обнаружения и оперативную реакцию на чрезвычайные ситуации.

Использование *вышек с датчиками дыма, газа и температуры.*

Преимущества:

1. раннее обнаружение пожаров: датчики могут обнаруживать признаки пожаров еще на ранних стадиях, когда они еще малы и могут быть легче потушены;
2. более точное определение местоположения: вышки с датчиками могут предоставлять точные данные о местоположении пожара, что помогает быстрее реагировать и отправлять бригады пожарных на место происшествия.

3. мониторинг условий окружающей среды: вместе с данными о пожарах, вышки могут предоставлять информацию о состоянии окружающей среды, такой как уровень загрязнения воздуха и температура, что также может быть полезным для оценки воздействия пожаров на экосистему.

Недостатки:

1. стоимость: установка и обслуживание вышек с датчиками требует значительных затрат, что может быть неприемлемо для некоторых организаций или регионов с ограниченным бюджетом;
2. локальный охват: вышки имеют ограниченный радиус действия, что может привести к проблемам с охватом больших и отдаленных лесных территорий;
3. надежность: датчики могут подвергаться воздействию различных факторов, таких как погодные условия или повреждения, что может снижать надежность и точность получаемых данных.

В целом, использование вышек с датчиками для мониторинга лесных пожаров может быть эффективным инструментом, но требует внимательного обслуживания и адекватного финансирования для обеспечения их эффективности.

*Дистанционное зондирование* – это мощный инструмент для мониторинга лесных пожаров и получения данных о них.

Преимущества:

1. широкий охват: дистанционное зондирование позволяет охватить большие территории, что делает его эффективным инструментом для обнаружения лесных пожаров даже в отдаленных или труднодоступных районах.
2. быстрота реакции: системы дистанционного зондирования могут предоставлять данные в режиме реального времени или с минимальной задержкой, что позволяет оперативно реагировать на возникновение пожаров и координировать действия пожарных служб.
3. минимизация рисков для людей: использование дистанционного зондирования позволяет сократить необходимость направления людей на место пожара для его мониторинга, что снижает риски для их безопасности.
4. автоматизация и обработка данных: системы дистанционного зондирования могут автоматически обрабатывать полученные данные, что упрощает анализ информации о пожарах и позволяет оперативно принимать решения.

Недостатки:

1. ограничения погодных условий: некоторые методы дистанционного зондирования могут быть ограничены погодными условиями, такими как облачность или дождь, что может затруднить обнаружение пожаров или снизить качество получаемых данных.
2. необходимость калибровки и проверки: для точного обнаружения и анализа пожаров требуется калибровка и проверка данных, получае-

мых с помощью дистанционного зондирования, что может потребовать значительных усилий и ресурсов.

3. ограниченная способность проникновения через дым и туман: в случае сильного дыма или тумана системы дистанционного зондирования могут испытывать затруднения в обнаружении пожаров.
4. сложности в интерпретации данных: интерпретация данных, полученных с помощью дистанционного зондирования, может быть сложной из-за различных факторов, включая наличие естественных источников тепла или других объектов, которые могут быть ошибочно приняты за пожары.

Несмотря на эти ограничения, дистанционное зондирование остается эффективным инструментом для мониторинга лесных пожаров и получения данных о них, особенно при правильном использовании и комбинации с другими методами наблюдения.

*Получение данных из открытых источников*, таких как спутниковые снимки, социальные сети, новостные статьи и другие, имеет свои преимущества и недостатки в качестве инструмента мониторинга лесных пожаров:

Преимущества:

1. доступность: информация из открытых источников обычно доступна всем пользователям без каких-либо ограничений или платежей.
2. скорость: данные из открытых источников могут быть получены почти мгновенно после их появления, что позволяет оперативно реагировать на возможные пожары.
3. обширность: разнообразие источников позволяет получить широкий спектр информации, включая географический охват и разнообразные типы данных.
4. стоимость: в большинстве случаев использование открытых источников данных не требует значительных финансовых затрат.

Недостатки:

1. не всегда точные данные: информация из открытых источников может быть неточной или неполной из-за ошибок в источниках или недостаточной проверки данных.
2. зависимость от качества источников: качество данных может сильно варьироваться в зависимости от надежности источников, что может привести к недостоверным результатам.
3. ограниченная детализация: некоторые открытые источники могут предоставлять ограниченную информацию о пожарах, что может затруднить анализ и мониторинг.
4. ограниченные возможности анализа: несмотря на большой объем данных, анализ открытых источников может быть ограниченным по сравнению с данными, полученными с использованием специализированных средств и технологий.

Использование данных из открытых источников в качестве инструмента мониторинга лесных пожаров может быть эффективным при пра-

вильном анализе и интерпретации данных, однако необходимо учитывать их ограничения и потенциальные ошибки.

### **Заключение**

В настоящей статье были рассмотрены различные методы получения данных из разнородных источников для оценки уровня пожароопасности лесного массива. Использование комбинации данных с различных источников позволяет создать более полную и точную картину текущей ситуации, что значительно повышает эффективность мониторинга и управления лесными пожарами.

Одним из наиболее перспективных подходов является интеграция данных, полученных с помощью беспилотных летательных аппаратов с камерами для анализа изображений, датчиками дыма, газа и температуры, а также информацией с метеорологических станций и спутников. Этот подход позволяет обеспечить оперативное обнаружение пожаров, анализировать их интенсивность и направление распространения, а также прогнозировать вероятность возникновения новых очагов возгорания.

Однако следует отметить, что существует ряд вызовов и ограничений, связанных с получением данных из различных источников. Это включает в себя трудности в обработке больших объемов информации, зависимость от погодных условий и доступности ресурсов. Также важно учитывать вопросы конфиденциальности данных и обеспечения безопасности информации.

Несмотря на эти вызовы, интеграция данных из различных источников остается эффективным подходом для оценки уровня пожароопасности лесного массива. Дальнейшие исследования в этой области могут способствовать разработке более точных и автоматизированных систем мониторинга, что поможет снизить риски возникновения и распространения лесных пожаров.

### **Библиографический список**

1. Иванов А.А., Петров Б.В. Применение беспилотных летательных аппаратов для мониторинга лесных пожаров. Журнал "Техника и экология". 2020. № 3. С. 10-20.
2. Смирнов В.Г., Козлова Е.И. Использование камер для анализа изображений в мониторинге лесных пожаров. Сборник научных трудов "Экология и природопользование". 2018. Вып. 5. С. 45-55.
3. Петров Д.С., Сидоров Г.А. Применение методов машинного обучения в анализе данных для мониторинга лесных пожаров. Конференция "Инновационные технологии в экологии". Москва, 2019. С. 112-125.
4. Алексеев Н.Н., Кузнецова О.П. Оценка эффективности использования спутниковых данных в мониторинге лесных пожаров. Журнал "Геоинформационные системы и дистанционное зондирование". 2017. Т. 25. № 2. С. 78-87.

5. Григорьев П.И., Титова Е.М. Анализ применения датчиков для мониторинга лесных пожаров. Материалы конференции "Современные технологии в экологии". Санкт-Петербург, 2021. С. 230-245.
6. Лебедев В.С., Николаева М.А. Прогнозирование пожароопасности лесного массива на основе анализа метеорологических данных. Журнал "Метеорология и климатология". 2018. Т. 30. № 4. С. 56-65.
7. Ковалева Е.П., Попов С.А. Сравнительный анализ методов обнаружения лесных пожаров. Материалы научной конференции "Экологические проблемы современности". Казань, 2020. С. 78-89.
8. Данилов А.В., Чернова Е.И. Использование данных дистанционного зондирования для мониторинга лесных пожаров. Журнал "Экологические исследования". 2019. Т. 15. № 1. С. 102-115.
9. Васильев П.И., Михайлова Е.А. Анализ методов интеграции данных из различных источников для оценки пожароопасности. Конференция "Экологические технологии". Новосибирск, 2018. С. 210-225.
10. Зайцев В.В., Гончарова О.Н. Применение БПЛА в мониторинге лесных пожаров: перспективы и ограничения. Журнал "Экологическая безопасность". 2017. Т. 20. № 3. С. 34-45.
11. Семенов Н.П., Попова Л.И. Роль спутниковых систем связи в организации мониторинга лесных пожаров. Сборник научных статей "Современные информационные технологии в экологии". СПбГУ, 2016. С. 150-165.
12. Карпов И.А., Беляева А.С. Применение геоинформационных систем в мониторинге лесных пожаров. Журнал "Геоинформатика и картография". 2020. Т. 10. № 2. С. 88-97.
13. Воронов А.М., Кузнецов П.В. Современные методы анализа данных для мониторинга лесных пожаров. Конференция "Экологические технологии и инновации". Москва, 2019. С. 180-195.
14. Шарова Е.В., Новикова М.Д. Эффективность использования датчиков дыма и газа в системах мониторинга лесных пожаров. Журнал "Экологическая безопасность и рациональное природопользование". 2018. Т. 25. № 1. С. 40-51.
15. Громов И.П., Соловьева Е.В. Оценка пожароопасности лесных массивов на основе анализа данных БПЛА. Сборник научных трудов "Актуальные проблемы экологии". ВГУ, 2017. С. 78-89.
16. Андреев В.И., Казакова Т.А. Использование данных дистанционного зондирования для мониторинга пожароопасности. Журнал "Дистанционное зондирование и геоинформатика". 2020. Т. 5. № 3. С. 112-125.
17. Рыжов Г.С., Полякова Е.Д. Применение методов анализа данных для прогнозирования пожароопасности. Конференция "Экология и устойчивое развитие". СПб, 2018. С. 210-225.
18. Чернов И.Н., Григорьева А.П. Сравнительный анализ методов оценки пожароопасности лесных массивов. Журнал "Биотехнические системы и технологии". 2019. Т. 8. № 4. С. 56-67.

- 19.Максимов С.В., Федорова Е.А. Применение геоинформационных систем для анализа данных мониторинга лесных пожаров. Конференция "Информационные технологии и экология". Москва, 2017. С. 180-195.
- 20.Иванов П.А., Кузнецов В.Д. Эффективность использования БПЛА для мониторинга лесных пожаров: анализ и перспективы. Журнал "Экологическая безопасность и природопользование". 2018. Т. 15. № 2. С. 78-89.

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

## ТЕСТИРОВАНИЕ ПРОСТЕЙШИХ СЕТЕВЫХ PYTHON- ПРИЛОЖЕНИЙ В NOTEPAD++

### TESTING SIMPLEST NETWORK PYTHON-APPLICATIONS IN NOTEPAD++

***Аннотация:** Статья обсуждает методы тестирования сетевых программ на Python в среде Notepad++. Рассмотрены начальное и интегральное тестирование, включая использование pytest для проверки множественного подключения клиентов к UDP-серверу. Выделены особенности настройки среды Notepad++ для удобства разработки и отладки. Исследован альтернативный метод запуска сервера для эффективного тестирования.*

***Abstract:** The article discusses methods for testing network programs in Python in the Notepad++ environment. Covers initial and integral testing, including using pytest to test multiple client connections to a UDP server. Features of setting up the Notepad++ environment for ease of development and debugging are highlighted. Explored an alternative method to run the server for efficient testing.*

***Ключевые слова:** сетевое программирование, тестирование, Python, pytest, Notepad++, UDP, разработка, отладка.*

***Keywords:** network programming, testing, Python, pytest, Notepad++, UDP, development, debugging.*

#### **Введение.**

При построении распределенных информационных систем на Python важным является вопрос тестирования сетевого взаимодействия между от-

дельными программными модулями. Обычно, их взаимодействие осуществляется на базе UDP или TCP протоколов, когда на один из модулей возлагают серверные функции, а на другие – клиентские [1,2]. В этих условиях для полноценного сетевого тестирования нужна хотя бы локальная сеть с реальными задержками в коммутаторах и маршрутизаторах. Однако на начальных этапах проектирования системы, когда тестируется только функционал, возлагаемый на отдельные ее модули, можно использовать и всего один компьютер, запуская на нем сразу несколько виртуальных машин или несколько процессов в рамках одной операционной системы.

В мире разработки программного обеспечения для сетевых приложений на языке Python выбор подходящей среды разработки становится ключевым фактором для успешной реализации задач. Существует множество интегрированных сред разработки (IDE), каждая из которых предоставляет свои уникальные возможности. Среди них выделяются такие популярные решения, как PyCharm, Visual Studio Code (VSCode), Atom и другие.

В отличие от них, Notepad++ [3] прекрасно подходит для знакомства с Python и тестирования простейших сетевых приложений. Его преимущества включают легкость использования, удобное управление файлами и возможность отслеживания вывода во встроенной консоли. Несмотря на ограниченные функции отладки, Notepad++ остается отличным инструментом для начального знакомства с сетевым программированием на Python.

### Постановка задачи

Целью данной статьи является рассмотрение потенциала редактора Notepad++ в контексте тестирования простых сетевых Python-приложений. Задачи включают в себя детальную настройку среды Notepad++, проведение анализа кода, его отладку в разных экземплярах и вкладках, создание автоматических тестов, а также формирование заключения относительно эффективности использования Notepad++ в сетевом программировании.

В качестве примера будет рассмотрено сетевое взаимодействие UDP сервера и клиента, при котором клиент 5 раз с интервалом в одну секунду формирует и отправляет на сервер выражение вида  $2^i$ , где  $i$  - номер текущего шага, а сервер выполняет его и результат возвращает клиенту.

```
# Файл client.py
import socket
import time
with socket.socket(socket.AF_INET, socket.SOCK_DGRAM) as cli:
    cli.connect(('127.0.0.1', 8080))
    print(f"-- Клиент подключен к серверу")
    for i in range(1, 6):
        expression = f"2**{i}"
        cli.send(expression.encode('utf-8'))
```

```

result, _ = cli.recvfrom(1024)
print(f" результат: {result.decode('utf-8')}")
time.sleep(1)

# Файл server.py
import socket
import math
with socket.socket(socket.AF_INET, socket.SOCK_DGRAM) as svr:
    svr.bind(('127.0.0.1', 8080))
    print(f"\n-- Сервер запущен в работу:")
    while True:
        data, addr = svr.recvfrom(1024)
        x = data.decode('utf-8')
        res = eval(x)
        svr.sendto(f'{x} = {res}'.encode('utf-8'), addr)

```

Не отвлекаясь на описание работы этих простейших программных кодов, в данной статье основное внимание будет уделено настройке среды Notepad++ для тестирования таких сетевых приложений на Python. Начав с пошаговой настройки окружения, затем перейдем к особенностям тестирования и отладки, предоставляемым Notepad++, а в заключение сделаем вывод о том, в каких сценариях использование Notepad++ может быть особенно ценным для разработчиков, начинающих сетевое программирование на Python.

### **Настройка Notepad++ для выполнения программ**

Одной из особенностей редактора Notepad++ является возможность из его среды запускать программы без переключения на другие окна, в которых может работать оболочка Python. Обеспечить такую функциональность позволяет внедрение в Notepad++ плагина NppExec, который предоставляет командную оболочку прямо в самом редакторе.

Для его загрузки следует выбрать Plugins, Plugin Manager, Show Plugin Manager. Затем в окне Plugin Manager найти NppExec, установить его, а для настройки под Python – выбрать опции Plugins, NppExec, и в окне "Execute NppExec Script ..." ввести следующий сценарий:

```

NPP_SAVE
cd "$(CURRENT_DIRECTORY)"
python.exe $(FILE_NAME)

```

Он предписывает плагину NppExec сохранить текущий файл, обеспечить переход в папку этого файла и выполнить команду python с загрузкой этого файла на выполнение [4]. Для сохранения скрипта надо нажать кнопку "Save...", дать ему имя, например "RunPython", и закрыть окно.

После сохранения скрипта появляется возможность настроить его вызов из меню макросов, и даже указать комбинацию клавиш для запуска его на выполнение. Добавление опции в меню макросов выполняется в окне NppExec Advanced Options, а для назначения горячих клавиш надо, после рестарта Notepad++, перейти в окно Управление Клавишами Быстрого Доступа, на вкладке Плагины найти имя макроса RunPython и назначить ему любое сочетание клавиш. Например, клавишу F9.

```
print("Привет - это Notepad++!")
import time
time.sleep(5)
print("До свидания!!!")
```

После ввода в одной из вкладок Notepad++ приведенного выше кода, нажатие F9 автоматически запустит сценарий NppExec, выполнит данный Python-код, а результат выполнения будет отображен в консоли NppExec в нижней части Notepad++. Но при этом надо особо отметить, что оба сообщения в консоли отобразятся одновременно и после паузы в 5 секунд.

Это связано с тем, что консоль NppExec работает в отдельном процессе, вывод происходит буферизовано, и данные сразу не отображаются. Добавление аргумента flush=True при вызове функции print гарантирует, что буфер будет сброшен, и данные будут отображены сразу же после вызова print. С этим изменением можно увидеть "Привет - это Notepad++!" сразу после первого print, а затем после паузы в 5 секунд и "До свидания!!!".

Однако существует и другой подход, когда при вызове python.exe используют ключ -u, который отключает буферизацию стандартного вывода, что означает, что данные будут сразу выводиться в консоль, без задержки, вызванной буферизацией.

При тестировании сетевых программ, в условиях реального времени и асинхронной обработки, управление буферизацией вывода является важным вопросом. Рассмотрим применение -u и flush=True в этом контексте:

- Использование -u при запуске скрипта. Преимущества: гарантирует небуферизованный вывод для всего скрипта, особенно полезен, если вся программа предназначена для работы в режиме реального времени, и требуется точная временная синхронизация вывода. Недостатки: может быть избыточным, если нужен небуферизованный вывод только в некоторых конкретных местах.
- Использование flush=True в print. Преимущества: позволяет более гибко контролировать буферизацию в конкретных местах кода, где это необходимо. Недостатки: требует явного указания 'flush=True' при каждом вызове print и более детального контроля в сценариях с большим объемом вывода данных.

Оба подхода могут быть полезными, их можно комбинировать в зависимости от конкретных требований и тестовых сценариев. Однако, в сетевых программах, где требуется точная временная синхронизация и реагирование на события в режиме реального времени, конструкция `python.exe -u $(FILE_NAME)` является более предпочтительной и гарантирующей минимальные задержки в выводе.

## Начальное тестирование сетевых программ

При тестировании сетевых программ обычно выделяют два основных этапа – начальное (или первичное) тестирование и интегральное (или полноценное) тестирование. Если полноценное тестирование охватывает весь спектр функциональности программ, включая модульные, интеграционные и системные тесты, то начальное тестирование нацелено на поиск синтаксических и семантических ошибок в коде, включая ошибки компиляции и неправильное использование языковых конструкций. Этот этап включает в себя и ручное тестирование, проводимое параллельно с разработкой, с использованием различных интегрированных сред.

Тестирование сетевых программ в среде Notepad++ позволяет использовать несколько техник и инструментов. Один из них состоит в том, что файлы `server.py` и `client.py` создаются в двух разных вкладках Notepad++. Активируя вкладку сервера и нажав F9, можно убедиться, что сервер запущен в работу, получив его сообщение в консоли Notepad++ (рисунок 1).

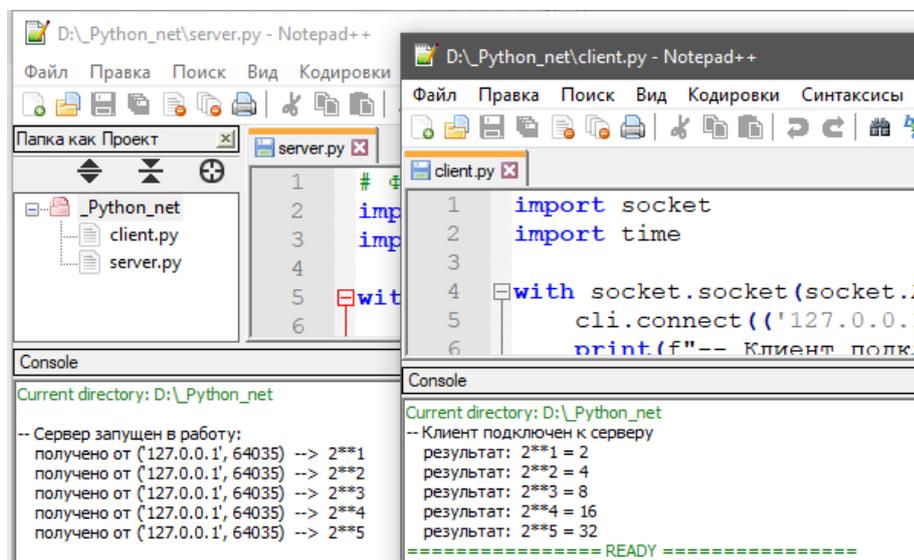


Рис. 1. Тестирование с использованием двух экземпляров Notepad++

После этого, щелкнув правой кнопкой мыши на вкладку клиента, во всплывающем меню выбрать “Переместить в новый экземпляр”. Откроется новое окно Notepad++ с единственным файлом `client.py`. Нажатие F9 в этом окне вызовет запуск клиента в работу и начало сетевого обмена между ним и сервером, что будет видно в консолях обоих экземпляров Notepad++.

Выполнив пять посылок, клиент закончит свою работу, а сервер продолжает слушать udp порт и готов к новым подключениям клиента. Остановить работу сервера можно нажатием Ctrl+C в его консоли.

Таким образом, можно тестировать сетевые программы в Notepad++, переносить код между различными экземплярами и наблюдать процессы сетевого обмена в консолях этих экземпляров. Но этот подход не единственный, который облегчает разработку и отладку сетевых приложений.

Возможна и иная техника начального тестирования клиент-серверных приложений, при которой оба приложения редактируются и тестируются, находясь в разных вкладках, но одного экземпляра Notepad++. Принципиальным здесь будет организация запуска сервера в виде отдельного процесса. Одним из возможных подходов к решению этой задачи может быть запуск Python в отдельной оболочке (командной строке), что создает изолированное выполнение кода в новом процессе, отделенном от Notepad++. Реализовать данный подход достаточно просто, если для запуска сервера использовать несколько измененный сценарий:

```
NPP_SAVE
CD "$(CURRENT_DIRECTORY)"
cmd /k start python.exe -u $(FILE_NAME)
```

Каждый раз при его запуске будет создаваться новое окно командной строки, в котором будут отображаться все сообщения сервера, а консоль Notepad++ остается свободной для вывода сообщений клиента. Использование двух разных сценариев запуска обеспечит возможность коду разных вкладок создавать свой собственный процесс Python (рисунок 2).

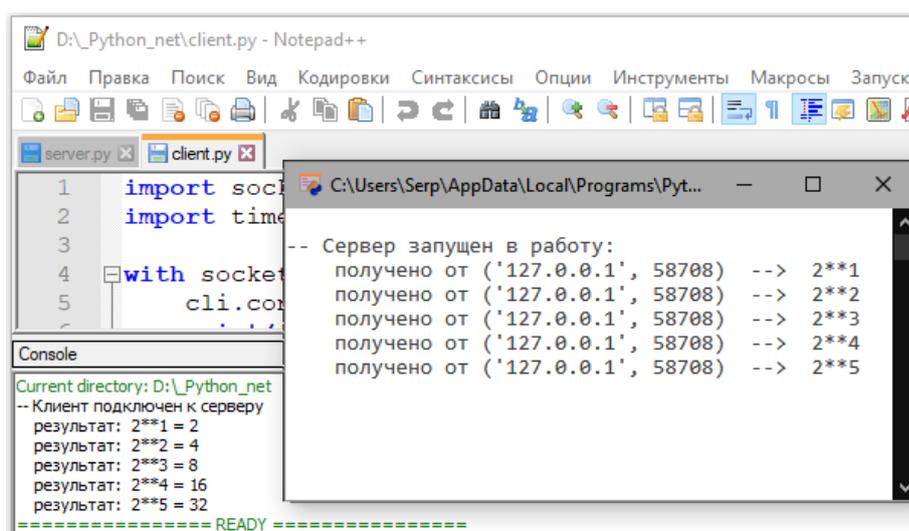


Рис. 2. Тестирование с запуском сервера в отдельном процессе

Аналогичный результат можно получить, если в окне проекта на файле server.py правым кликом мыши выбрать “Запустить системой”, а затем во вкладке client.py нажать F9.

## Интегральное тестирование сетевых программ

На этом этапе выполняется более глубокая проверка сетевого взаимодействия, которая включает в себя как модульное тестирование отдельных компонентов (UDP-сервера и клиента), так и интеграционные тесты для проверки их взаимодействия через UDP-протокол.

Типовыми обычно являются задачи на тестирование подключения и отключения, на обмен данными, обработку ошибок и масштабируемость. При тестах на масштабируемость проверяется, как программы ведут себя при обработке большого количества одновременных соединений, и оценивается эффективность их работы при разной нагрузке на сеть. Рассмотрим вариант формирования теста, выполняющего тестирование подключения к серверу сразу нескольких клиентов, количество которых задается в тесте.

Для построения тестов программ на Python могут использоваться разные инструменты, но согласно исследованию JetBrains, наиболее популярным из них является pytest (рисунок 3).

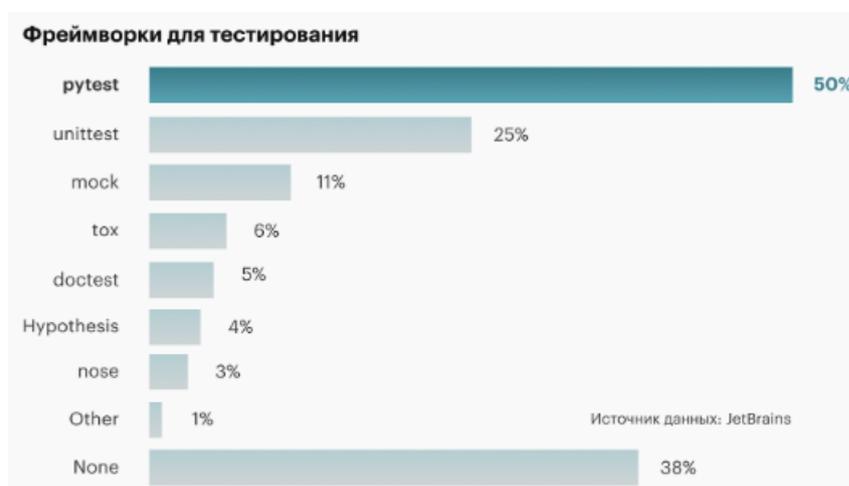


Рис. 3. Оценка популярности инструментов тестирования Python-программ

Этот фреймворк можно интегрировать в Notepad++, а тест на Python, использующий библиотеку pytest [5, 6] для тестирования одновременного подключения нескольких клиентов к UDP-серверу может иметь вид:

```
# Файл test_network.py
import subprocess
import time
import pytest
from concurrent.futures import ThreadPoolExecutor

def run_server():
    # Запускаем сервер в отдельном процессе
    server_process = subprocess.Popen(["python", "server.py"])
    time.sleep(1) # Даем серверу время для запуска
    return server_process
```

```

def run_client():
    # Запускаем клиента в отдельном процессе
    client_process = subprocess.Popen(["python", "client.py"])
    return client_process

def test_network_interaction():
    # Запускаем сервер
    server_process = run_server()
    n = 3
    try:
        # Запускаем n клиентов одновременно
        with ThreadPoolExecutor(n) as executor:
            clients = [executor.submit(run_client) for _ in range(n)]

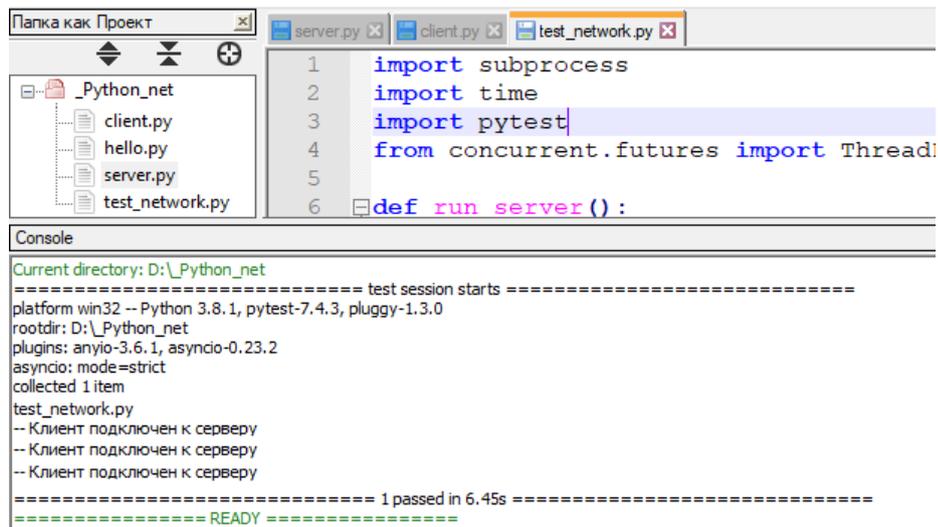
            # Даем клиентам время для взаимодействия
            for client in clients:
                client.result().wait()

            # Проверяем, что все клиенты завершились без ошибок
            for client in clients:
                assert client.result().returncode == 0

    finally:
        # Завершаем сервер после завершения теста
        server_process.terminate()
        server_process.wait()

```

Для запуска теста в работу может быть использован сценарий, аналогичный приведенным выше с последней строкой вида: `pytest` или `pytest -s`, в зависимости от желаемого объема выводимой информации. Имя файла можно не указывать, так как при наличии в текущей директории только одного теста `pytest` автоматически запустит именно этот файл (имена файлов всех тестов всегда должны начинаться с `test_`). Для случая подключения к `udr`-серверу трех клиентов результат выполнения этого теста в консоли `Notepad++` будет иметь вид, как на рисунке 4, что показывает успешность выполнения этого теста.



**Рис. 4.** Результат одновременного подключения трех клиентов к idr серверу

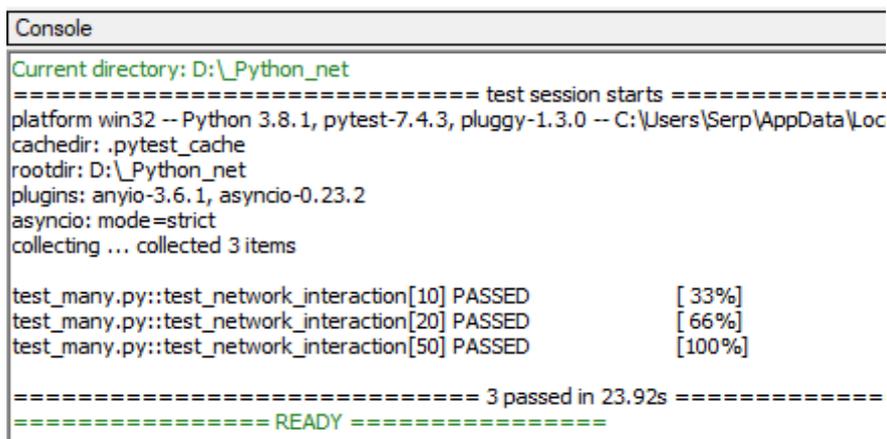
Более эффективным будет тестирование, если в рамках одного тестового файла выполнять сразу несколько тестов, применяя для этого, используемые в pytest декораторы вида `@pytest.mark.parametrize`.

```

...
@pytest.mark.parametrize("n", [10, 20, 50])
def test_network_interaction(n):
    server_process = run_server()
    try:
        with ThreadPoolExecutor(n) as executor:
            clients = [executor.submit(run_client) for _ in range(n)]
    ...

```

В этом примере декоратор используется для параметризации теста, при котором каждое значение из списка `[10,20, 50]` передается в тест, как количество подключаемых к серверу клиентов (`n`). При запуске pytest выполнит три отдельных теста. Каждый из них будет иметь свой собственный результат выполнения в консоли Notepad++ (рисунок 5).



**Рис. 5.** Результат трех тестов с разным количеством подключаемых клиентов

Анализируя результаты отметим, что строка `collecting ... collected 3 items` сообщает о процессе сборки тестов: было собрано 3 тестовых функ-

ции (items). Следующие три строки информируют о том, что тесты с параметрами 10, 20 и 50 успешно выполнены. Последняя строка – это итоги сессии: ‘3 passed in 23.92s’, общее количество успешно выполненных тестов и время, затраченное на выполнение. Таким образом, весь вывод отображает информацию о том, как выполнялись тесты и их результаты.

## **Заключение**

В современном мире разработки сетевых приложений, тестирование играет ключевую роль в обеспечении их надежности и стабильности. В статье были рассмотрены эффективные методы начального и интегрального тестирования в среде Notepad++, освещены особенности настройки и использования фреймворка pytest. Альтернативные подходы, такие как запуск сервера в отдельном процессе, подчеркивают важность инноваций в тестировании, что способствует более качественной разработке сетевых программ. Такие подходы, вместе с удобством работы в Notepad++, сделают процесс создания стабильных сетевых приложений более эффективным и удовлетворяющим разнообразные требования разработчиков.

## **Библиографический список**

1. Хабаров, С. П. Взаимодействия узлов сети по протоколу WebSocket // Информационные системы и технологии: теория и практика: Сборник научных трудов научно-технической конференции института леса и природопользования. - Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет им. С.М. Кирова, 2017. - С. 104-115. EDN: YRLWFS
2. Заяц А.М., Хабаров С.П. Настройка беспроводных соединений в системах мониторинга лесных территорий // В сборнике: Леса России: политика, промышленность, наука, образование. Материалы третьей международной научно-технической конференции. Под редакцией В.М. Гедьо. Том 1. – СПб: Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет им. С.М. Кирова, 2018. – С. 80-83.
3. Notepad++ [Электронный ресурс]. <https://notepad-plus-plus.org/> (дата обращения: 02.01.2024).
4. Хабаров, С. П. Использование Notepad++ для тестирования простейших сетевых Java-приложений // Информационные системы и технологии: теория и практика: научно-техническая конференция Института леса и природопользования СПбГЛТУ. Том Выпуск 14. – Санкт-Петербург: СПбГЛТУ имени С.М. Кирова, 2022. – С. 214-225. – EDN JYNFER.
5. Pytest: helps you write better programs [Электронный ресурс]. <https://docs.pytest.org/en/latest/index.html> (дата обращения: 02.01.2024).
6. Руководство по Pytest: как тестировать код в Python [Электронный ресурс]. [https:// skillbox.ru/media/code/rukovodstvo-po-pytest-kak-testirovat-kod-v-python/](https://skillbox.ru/media/code/rukovodstvo-po-pytest-kak-testirovat-kod-v-python/) (дата обращения: 02.01.2024).

**К.И.Шибнев**, студент 4 курса ИСиТ  
Кафедра Информационных систем и технологий  
СПбГЛТУ им. С.М. Кирова  
shibnev02@mail.ru

**Н.В. Меламед**, кандидат технических наук, доцент  
Кафедра Информационных систем и технологий  
СПбГЛТУ им. С.М. Кирова  
natali@melamed.su

## **РАЗРАБОТКА КОМПЬЮТЕРНОЙ СИСТЕМЫ, ПРЕДНАЗНАЧЕННОЙ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ХОДА РОСТА ДРЕВОСТОЕВ**

### **DEVELOPMENT OF A COMPUTER SYSTEM DESIGNED FOR SIMULATING THE PROGRESS OF GROWTH OF TREE STANDS**

***Аннотация.** В данной статье рассматривается новая компьютерная система для моделирования хода роста древостоев. Система основана модели полиномиальной регрессии и использует данные из *xlsx*-таблиц с информацией о возрасте, высоте, диаметре, количестве стволов, сумме площадей сечений, запаса, полноте, бонитете и типе леса.*

***Abstract:** This article discusses a new computer system for modeling the growth of forest stands. The system is based on a polynomial regression model and uses data from *xlsx* tables with information on age, height, diameter, number of trunks, sum of cross-sectional areas, stock, completeness, quality and type of forest.*

***Ключевые слова:** моделирование хода роста древостоев, полиномиальная регрессия, машинное обучение.*

***Keywords:** modeling the growth of forest stands, polynomial regression, machine learning.*

#### **Введение:**

Модели роста и производительности насаждений требуются для различных целей в лесном хозяйстве, таких как таксация насаждений, оценка вариантов рубок ухода, прогнозирование продуктивности древостоев, оценка производительности условий произрастания и многих других [2,3].

Главным назначением математических моделей является обеспечение специалистов данными для анализа и проверки ведения лесного хозяйства, а также обеспечение возможности проверки различных гипотез и вариантов его ведения. Практически все модели имеют одну общую цель – предоставить данные о состоянии насаждения в некоторый определенный момент времени.

В 1974 году D. D. Munro [10] сформулировал три основных принципа моделирования роста насаждения:

1) основной единицей модели является отдельное дерево (для разработки таких моделей необходимы данные таксации частей древесного ствола, измерения кроны, коры, оценка биологической конкуренции деревьев, а также их пространственное размещение);

2) основной единицей модели являются отдельные деревья, без учета их пространственного размещения;

3) основная единица – древостой (модели строятся для совокупности насаждений по их средним показателям).

Модели первого типа создаются на основании следующей информации об отдельном дереве: индекс условия местопроизрастания; фактор конкуренции деревьев; диаметр и протяженность кроны; расстояние между деревьями; анализ хода роста древесного ствола; текущий прирост по диаметру и высоте по 5-летним периодам; положение дерева в системе координат. Модели этого типа дают детальную информацию о строении древостоя, но главная их цель заключается в определении влияния рубок ухода на древостой, а также в определении оптимальной схемы посадки. В формировании и использовании данных моделей существуют сложности, которые заключаются в трудоемком сборе информации по пространственной структуре и измерениях.

Модели второго типа разрабатываются с использованием зависимости относительного прироста по диаметру, высоте, объему и таксационных показателей от факторов окружающей среды, густоты древостоев. Эти модели могут использоваться для проектирования рубок ухода. Но у этих моделей есть недостаток, который не дает надежности в прогнозировании прироста.

Модели третьего типа широко распространены в виде таблиц хода роста (ТХР). При их создании применяются регрессионные уравнения связи таксационных показателей древостоев. Большим преимуществом таких моделей является возможность использования массовой лесоустроительной информации, которую получают во время проведения лесоустройства. Данные модели достаточно просты и требуют относительно небольших объемов вычислений.

Сопоставляя три основных метода исследования хода роста насаждений, можно сделать вывод, что первый из них позволяет получить более точные результаты, но неприемлем из-за длительного периода, требуемого для полного исследования. Преимущество второго и третьего способов в том, что при пользовании ими требуются однократные обмеры насаждений, выполняемые в течение одного летнего сезона. Однако преимущество это является одновременно и недостатком, так как однократный обмер не всегда гарантирует выбор насаждений, принадлежащих к одному естественному ряду роста и развития.

Таким образом, можно сделать следующие выводы:

- 1) основными видами таблиц являются таблицы хода роста оптимальных и разнополнотных насаждений;
- 2) таблицы должны учитывать происхождение и степень изреживания древостоев;
- 3) они должны быть местными с учетом типов кривых изменения таксационных показателей;
- 4) таблицы необходимо составлять с использованием математических методов и компьютерных технологий.

### **Математические методы моделирования хода роста древостоев**

Существует множество различных методов моделирования хода роста древостоев. Один из наиболее распространенных методов - это регрессионный анализ.

В соответствии с общими предпосылками регрессионного анализа [3,4] при моделировании хода роста древостоев приняты следующие основные постулаты:

- 1) регрессионная модель должна объяснять не менее 90% вариаций зависимой переменной (коэффициент детерминации  $R > 0,90$ );
- 2) достоверность регрессии оценивается по  $F$ -критерию Фишера;
- 3) коэффициенты регрессии должны быть значимы по  $t$ -критерию Стьюдента на 5-процентном уровне значимости;
- 4) измерения (оценки) зависимых переменных должны быть равноточны и не коррелированы, то есть не взаимосвязаны;
- 5) мультиколлинеарность (функциональная зависимость и тесная корреляция факторов) зависимых переменных (факторов) незначительная;
- 6) относительная ошибка регрессионной модели должна быть менее 10% среднего значения предсказываемой зависимой переменной;
- 7) остатки от регрессии должны быть без заметной автокорреляции, нормально распределены и без систематической составляющей [2,6].

Общая математическая модель временного ряда хода роста древостоев может быть представлена в виде:

$$Y(t) = V(t) + U(t) \quad (1)$$

где  $V(t)$  - детерминированная компонента;  $U(t)$  – случайная составляющая.

Для математического описания детерминированной составляющей или тренда временного ряда роста древостоев  $V(t)$  применяются различные функции – параболы 2–3 порядков (К. Е. Никитин, Л. Странд, М. Продан, Н. Н. Свалов, Я. А. Юдицкий), логарифмическая модель (Бэкман) и т. д [9]. Выделяют два основных признака кривых роста деревьев и древостоев:

1) кривые роста являются асимптотическими, т. е. при неограниченном увеличении возраста кривые имеют асимптоту – прямую, параллельную оси абсцисс;

2) текущий прирост кривой роста возрастает и достигает максимума в точке перегиба кривой, а затем уменьшается и медленно падает до нуля, т. е. до полного распада кривой.

Максимум прироста варьируется в зависимости от древесной породы и условий произрастания.

Число функций роста, предложенных в разное время исследователями, составляет несколько сотен и увеличивается с каждым годом [2, 7, 8]. Наиболее часто для моделирования хода роста древостоев используют представленные в табл. 1.

Таблица 1

### Функции временных рядов

Функции	Уравнения
Бэкмана	$\lg(y) = a + b \cdot \lg(x) + c \cdot \lg(x)^2$
Коллера	$y = a \cdot x^b \cdot e^{-c \cdot x}$
Терзани	$y = a \cdot e^{\frac{b}{x}}$
Митчирлиха	$y = A_0 \cdot (1 - e^{-c \cdot x})$
Герхарда	$y = a + b \cdot x$
Корсуня	$y = \frac{x^2}{a + b \cdot x + c \cdot x^2}$
Дракина-Вуевского	$y = A_0 (1 - e^{-k \cdot x})^m$
Никитина	$y = a + b \cdot x + c \cdot x^2 + d \cdot x^3$
Странда	$y = \frac{a}{(a + b \cdot x)}$
Хаглюнга	$y = A_0 (1 - e^{-k \cdot x})^{(1-m)}$

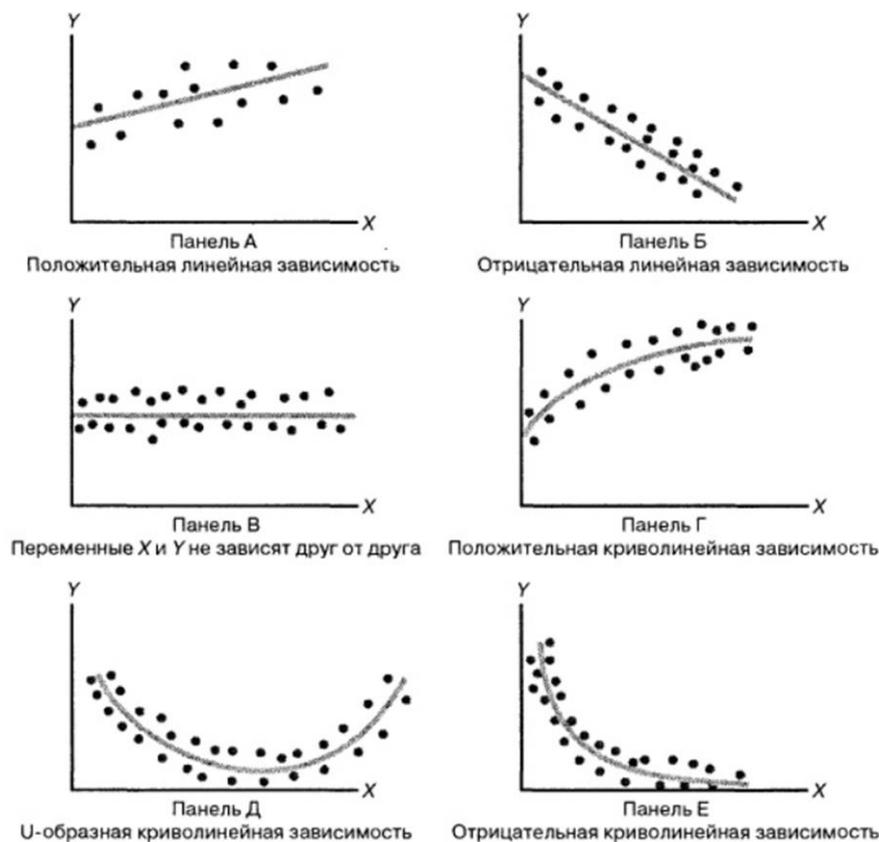
Важно выбрать функцию от переменной, по которой будет происходить построение регрессионной модели, так как в зависимости от той или иной функции будет разный алгоритм прохождения по выборке для получения регрессии.

Исследуем некоторые зависимости, по которым можно будет сделать вывод о характере необходимой функции. Данный этап является одним из самых важных при выборе метода аппроксимации. На рисунке 1 показаны примеры разных диаграмм разброса, иллюстрирующего виды зависимостей.

В связи с этим необходимо провести сравнительный анализ, функций регрессии, и выбрать ту, что обладает достаточной гибкостью.

Линейная регрессия, очевидно, не подходит даже для предоставленных примеров. Она широко используемым инструментом, не всегда подходит для моделирования сложных типов данных. Это связано с ее ограничением на линейные зависимости между переменными. В случае сложных структур данных, линейная модель неспособна адекватно описать взаимосвязь.

Логарифмическая и экспоненциальная регрессии могут быть применимы в некоторых случаях, особенно когда данные демонстрируют логарифмический или экспоненциальный рост. Однако, эти модели могут быть ограничены в своей способности адаптироваться к изменяющимся структурам данных, которые не соответствуют указанным форматам.



**Рис. 1.** Зависимость возраста к количеству стволов и высоте

В этом контексте полиномиальные регрессии, такие как квадратичная и кубическая, выделяются как более гибкие и адаптивные модели. Они способны аппроксимировать более сложные формы взаимосвязей, включая криволинейные, сигмоидальные и другие нелинейные тренды, что позволяет их рассмотреть для моделирования не циклических зависимостей, которые были предоставлены в примере.

Для подтверждения этого тезиса была написана программа, вычисляющая для данных примеров методом среднего квадрата регрессионные зависимости. Вывод из программы предоставлен на рисунок 2.

```
MSE для линейной регрессии: 79.41260818048264
MSE для квадратичной регрессии: 77.66061151439062
MSE для кубической регрессии: 74.76565242319916
MSE для логарифмической регрессии: 96.30290323063444
MSE для экспоненциальной регрессии: 139.92763152333185
```

**Рис. 2.** Результат работы программы сравнения функций для регрессионного анализа

Как видно, полиномиальная регрессия лучше всего отражает зависимости между переменными.

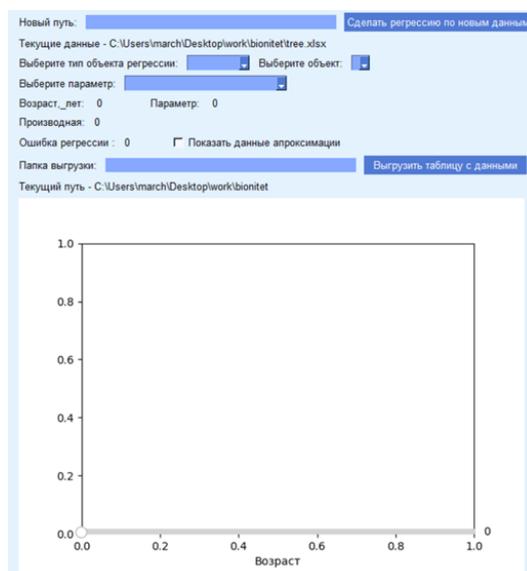
Учитывая изложенное, в качестве модели при разработке программного комплекса будет использоваться полиномиальная регрессия для моделирования хода роста древостоев. Полиномиальная регрессия позволяет моделировать более сложные зависимости между переменными, чем традиционные методы регрессии.

## Программный комплекс

Предлагаемая система состоит из трех модулей:

- *Модуль сбора данных:* Этот модуль считывает данные из *xlsx*-файла и преобразует их в формат, удобный для дальнейшей обработки.
- *Модуль обучения:* Этот модуль обучает полиномиальные регрессионные модели для каждого параметра (высота, диаметр, количество стволов, сумма площадей сечений, запас, полнота) для каждой комбинации бонитета и типа леса.
- *Модуль визуализации:* Этот модуль предоставляет графический интерфейс пользователя (GUI) для визуализации результатов моделирования. GUI позволяет пользователю:
  - ✓ выбрать параметр, который он хочет проанализировать, и увидеть его изменение в зависимости от возраста дерева;
  - ✓ просмотреть график зависимости параметра от возраста;
  - ✓ получить значение параметра в любой точке;
  - ✓ получить производную параметра в точке;
  - ✓ вывести ошибку регрессии (по методу наименьших квадратов);
  - ✓ экспортировать данные (Пользователь может экспортировать данные в таблицу Excel).

Главная экранная форма показана на рисунке 3



**Рис. 3.** Главная экранная форма

Оценке подлежат параметры регрессионного анализа всех таксационных показателей.

При анализе показателей по сумме площадей сечений и запасу имеющихся пробных площадей следует отметить высокую степень вариации показателей и низкий коэффициент корреляции их с возрастом, что обусловлено различной относительной полнотой древостоев.

Таким образом, приложение позволяет строить авторские таблицы хода роста с указанием таксационных показателей и уравнений, легших в основу построенных таблиц.

### **Заключение:**

Предлагаемая система является мощным инструментом для моделирования хода роста древостоев. Она позволяет пользователям точно прогнозировать изменения в характеристиках древостоев с течением времени, что может быть использовано для планирования лесозаготовительных работ, лесовосстановления и других мероприятий.

### **Библиографический список**

1. Альфред В.А., Хопкрофт Д., Ульман Д.Д. Структуры данных и алгоритмы. – М.: Вильямс, 2000. – 384 с
2. Атрощенко, О. А. Исследование операций в лесохозяйственных задачах: учеб. пособие: в 2 ч. – Минск: БТИ им. С. М. Кирова, 1992.
3. Вагнер Г. Основы исследования операций: В 3т. - М.:Мир,1972-1973, т.3. – 210 с.
4. Вентцель Е.С. Исследование операций: задачи, принципы, методология. – М.: Наука, 1980. - 208 с
5. Загреев В.В., Антанайтис В.В., «Прирост леса». 2-е изд., перераб. – М.: Лесная промышленность, 1981. – 200 с.
6. Зайцев Д.А. История применения метода математического моделирования в лесном хозяйстве. ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный университет имени С.М. Кирова», 2015
7. Поваров Е.Д. Анализ алгоритмов обработки данных полевых измерений на постоянных пробных площадях и порядок расчета количественных показателей лесных насаждений в ПИК ГИЛ. ФГБУ «Рослесинфорг», стр.67, Москва, 2018
8. Д.Е. Поваров, Н.В. Меламед. Разработка программного комплекса для анализа и моделирования хода роста древостоев на базе БД ПИК ГИЛ/ Информационные системы и технологии: теория и практика: сб. научн.тр. вып. 14/ отв. ред. М.Р.Вагизов. – СПб.: СПбГЛТУ, 2022. – с. 181-20
9. Свалов, Н. Н. Моделирование производительности древостоев и теория лесопользования. – М.: Лесная промышленность, 1979. – 215 с.

10. Munro, D. D. Forest growth models a prodnosis // Col. Growth models for tree and stand simulation / D. D. Munro. – IUFRO: Stockholm, 1973. – P.10–24.

**М.А.Шубина**, кандидат технических наук, доцент  
Кафедра информационных систем и технологий  
СПбГЛТУ им. С.М.Кирова  
nemsha@mail.ru

## О ПРОБЛЕМАХ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ДАННЫХ

### ABOUT THE PROBLEMS OF ENSURING THE SECURITY OF SPATIAL DATA

***Аннотация:** В статье рассматриваются основные программные средства обеспечения безопасности распределенных вычислительных систем и особенности защиты пространственных данных.*

***Abstract:** This article deals the main software tools for ensuring the security of distributed computing systems and the features of spatial data protection.*

***Ключевые слова:** обеспечение безопасности информации, защита данных, аутентификация, авторизация, шифрование, системы управления базами данных (СУБД), геоинформационные системы (ГИС), пространственные данные, несанкционированный доступ (НСД), системы обнаружения атак, последовательность системных вызовов (ПСВ).*

***Key words:** ensuring information security, data protection, auditing, authentication, authorization, encryption, database management systems (DBMS), geoinformation systems (GIS), spatial data, unauthorized access, intrusion detection system, sequence of system calls.*

Для защиты информационных ресурсов обычно используются следующие основные программно-технические средства обеспечения информационной безопасности: системы контроля доступа, включающие средства аутентификации и авторизации пользователей; средства аудита; системы шифрования информации; антивирусной защиты; межсетевое экранирования; обнаружения вторжений; анализа защищенности [1].

Процессы создания, получения, хранения и передачи пространственных данных представляют собой комплекс взаимосвязанных во времени и пространстве событий, поэтому и обеспечение защиты пространственных данных является сложной задачей. К настоящему моменту с разной степенью успешности были разработаны методы защиты отдельных аспектов указанных процессов: защита серверов, каналов связи, разных типов систем управления базами данных (СУБД), в разных моделях клиент-серверных систем, распределенных вычислений, геоинформационных систем. Каждый тип систем требует индивидуального подхода к обеспечению безопасности.

Как правило, стандарт безопасности ISO/IEC 15408 содержит следующие этапы методики построения распределенной информационной системы [2]:

- Определение целей и окружения системы сетевой безопасности.
- Разделение системы защиты на локальные задачи безопасности и формирование пакетов сетевой защиты.
- Функциональное наполнение классов требований, совокупностей и компонент системы управления.
- Формирование общего профиля сетевой защиты.

Окружением системы сетевой безопасности являются каналы доступа к информационным ресурсам. Затем эксперты определяют цели сетевой безопасности, а именно: определяют множество защищаемых информационных ресурсов системы и множество угроз, от которых они должны быть защищены. После определения наборов множеств сетевых угроз для каждого информационного ресурса сети, эксперты определяют набор множеств информационный ресурс – канал доступа – набор угроз на данном канале доступа для данного ресурса. На следующем этапе формируются технические требования к системе сетевой защиты: критичные настройки для системы сетевой защиты, каналобразующего оборудования, оборудования, содержащего информационные ресурсы и т.д. Далее строятся пакеты сетевой защиты, соответствующие стандарту ISO/IEC 15408 для решения одной локальной задачи сетевой защиты, которые объединяются в суммарную спецификацию системы сетевой безопасности и формируется профиль сетевой защиты. Стандарт опирается на принципы конфиденциальности, целостности и доступности информации.

Наибольшее количество работ посвящено методам защиты распределенных систем. Основные элементы вычислительной системы — аппаратура, программы, данные, управление взаимодействием между этими элементами и пользователями - могут быть представлены разными уровнями, что требует многоуровневой организации механизмов защиты. Например, программы представляют уровни операционных систем, приложений, служб и др. [3, 4].

Чаще всего при распределенной обработке для служб и данных выделяют четыре типа угроз безопасности: перехват (interception); прерывание (interruption); модификацию (modification) и подделку (fabrication).

Наиболее важные механизмы защиты (security mechanisms): шифрование (encryption); аутентификация (authentication); авторизация (authorization); аудит (auditing). Службы общего назначения отделены от коммуникационных служб.

При организации защиты приложений используют три основных подхода:

- защита ассоциированных с приложением данных (основная задача этого типа защиты - сохранение целостности данных);
- защита путем управления доступом с соблюдением прав доступа к каждому объекту;
- контроль пользователя (определение ролей, которые могут потребоваться пользователям, и предоставление механизмов управления доступом на основе списков ролей).

Схема взаимодействия элементов системы представлена на рис.1.



Рис.1. Вариант схемы взаимодействия элементов распределенной системы

В качестве примера приведем правила защиты, определенные в системе поддержки распределенных вычислений Globus [5], где для производства вычислений одновременно используется множество хостов, файлов и других ресурсов. Ресурсы расположены в различных административных доменах, которые могут находиться в разных частях света. Правила защиты в Globus учитывают следующие восемь моментов:

- среда состоит из множества административных доменов;
- локальные операции (то есть операции, протекающие в пределах одного домена) обеспечиваются исключительно локальными мерами защиты;
- глобальные операции (то есть операции, в которые включается несколько доменов) требуют инициатора, известного во всех вовлеченных в операцию доменах;
- для операций между сущностями в различных доменах необходима обоюдная идентификация;
- глобальная аутентификация стоит выше локальной;
- контроль доступа к ресурсам относится к компетенции локальной идентификации;

- пользователи могут делегировать свои права процессам;
- группа процессов в одном домене может использовать свои идентификаторы совместно.

Множество административных доменов имеют свои локальные правила защиты. Глобальные правила не изменяют действия локальных правил защиты, но операции в разных доменах требуют обоюдной аутентификации - если пользователь из одного домена захочет воспользоваться службой, расположенной в другом домене, домену, в котором находится служба, необходимо провести аутентификацию пользователя и проверку прав пользователя сначала внутри домена, в котором находятся используемые ресурсы. Разработчики распределенной системы Globus сосредоточились на разработке механизмов междоменной аутентификации и объявления пользователя в удаленных доменах. Для реализации этой концепции архитектура защиты определяет четыре различных протокола взаимодействия: создание заместителя с передачей ему полномочий, создание процесса и выделение ресурсов в удаленном домене при соблюдении прав доступа, автоматическая конвертация системного набора прав, представленного заместителем пользователя, в права для этого домена. Используется коммутируемая служба данных (Switched Multimegabit Data Service, SMDS), соединяющая локальные сети, которая может для защиты использовать шифрующие устройства на каждом маршрутизаторе [6].

Системы контроля безопасности направлены на обнаружение несанкционированного доступа, выявление и классификацию атак, мониторинг сетевой и локальной активности в защищаемой системе. Для этой цели используются: анализ последовательности системных вызовов (ПСВ), лог-файлов, журналов, сетевого трафика, просмотр сетевых пакетов, настройки систем безопасности, дополнительные методы, например, технология активных агентов мониторинга, модификация сетевых протоколов ТСР/ІР [4, 7 - 22].

Для реализации контроля безопасности могут использоваться разные подходы (рис. 2), из которых выбираются наиболее подходящие для конкретной задачи.

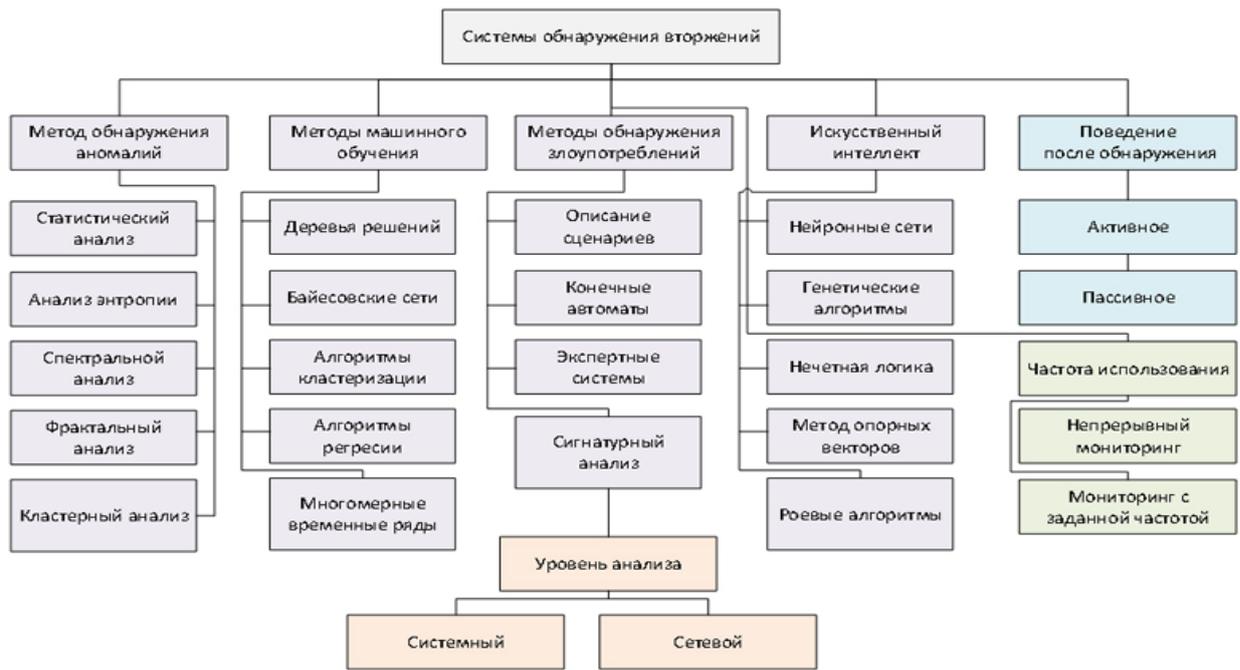


Рис. 2. Классификация систем обнаружения вторжения

Для предотвращения атак предлагается использовать интеллектуальные методы: специальную систему обнаружения атак на основе нейронной сети (искусственные нейронные сети) [7], в том числе периодическое тестирование, статистический анализ, сигнатурный анализ, анализ иерархий [11], по сути, подход на основе правил, превращающий систему обнаружения атак в продукционную экспертную систему.

Наиболее перспективны методы моделирования поведения системы с последующей фиксацией отклонений и распознавание ситуаций, накапливаемых в базах данных, с целью выбора определенного метода обнаружения атак. К таким методам относятся разработка системы обнаружения атак (СОА) на доменном уровне для корпоративных систем, разработка сетевой системы мониторинга событий безопасности (СМСБ), включающей модули монитора событий безопасности (МСБ); модуля оповещения; модуля отображения; базу данных событий безопасности, модуля настройки и управления, сервисы удаленного доступа к журналам аудита; использование IDS (intrusion detection system - системы выявления атак), для обнаружения атак на сетевом уровне с помощью искусственных нейронных сетей (ИНС) путем идентификации и классификации сетевой активности на основе ограниченных, неполных и нелинейных источников данных; системы обнаружения STAT, осуществляющие сигнатурный анализ данных.

При анализе трафика можно выбрать различные способы размещения сенсоров - перехватчиков и анализаторов трафика, например, между маршрутизатором и межсетевым экраном [18]. Один из способов – сбор данных сетевых пакетов из уровней OSI. Сетевые анализаторы поставляются в различных форматах, включая Libpcap, WinPcap, и PCAPng. После пе-

рехвата сетевых пакетов наступает основная фаза обнаружения атак – анализ полученных данных, для чего применяют анализ сигнатур и анализ протоколов трафика пакетов в соответствии со стандартами или рабочими предложениями (RFC). Практически все стандарты Глобальной сети существуют в виде опубликованных заявок RFC. Почти все стандарты разрабатываются под эгидой каких-либо научных или интернет - организаций (например, W3C, IETF, консорциум Юникода, Интернет 2). Изменяющаяся природа сетевых атак требует гибкой адаптивной защитной системы, которая способна изучать характеристики атак и идентифицировать элементы, которые не похожи на наблюдавшиеся прежде. Система обнаружения злоупотреблений на основе нейросетей может решить многие из проблем, присущих традиционным методам. Следующий уровень работы системы безопасности - ее реакция на обнаруженную проблему.

В существующих системах применяется широкий спектр методов реагирования: уведомление, хранение и активное реагирование. К категории «уведомление» относятся методы, направленные на донесение до администратора оперативной информации об атаках.

К категории "сохранение" относятся регистрация события в базе данных и воспроизведение атаки в реальном масштабе времени.

К категории «Активное реагирование» относятся: блокировка работы атакующего, завершение сессии с атакующим узлом, управлением сетевым оборудованием и средствами защиты.

После обнаружения атаки, необходимо классифицировать ее тип, для этого предлагается использовать несколько словарей, каждый из которых содержит слова, "типичные" для атак разных видов.

Технология активных агентов мониторинга (АМ) включает ряд сенсоров (датчиков, наборов сигнатур и шаблонов, профилей настройки), и модулей анализа. Информация заносится в собственный лог-файл агента. При реализации сенсоров последовательности системных вызовов (ПСВ-сенсоров) - используются средства операционных систем, а также модули анализа данных сенсоров на основе механизма нейронных сетей.

Поскольку программные средства обнаружения уязвимостей ОС (программные продукты Enterprise Security Manager (Symantec Corp.) и Intrusion SecurityAnalyst (Intrusion Inc.)) не позволяют выполнять произвольные проверки настроек безопасности, в [3] предлагается система обнаружения уязвимостей настроек безопасности «Декарт». Основной задачей «Декарта» является логическое моделирование подсистемы безопасности ОС, определение множества состояний системы, достижимых из заданного, и проверка критериев безопасности.

Для разграничения доступа на сетевом уровне предлагается использовать межсетевой экран.

Ряд разработок обеспечения безопасности при организации передачи данных в распределенной событийно-ориентированной вычислительной системе направлен на улучшение стандартов, например, для XML Web Services появились новые стандарты WS-Eventing от коалиции Microsoft,

BEA и Tibco и спецификации WS-Notifications, разработанного корпорацией IBM в сотрудничестве с Globus Alliance, HP, Akamai и Sonic Software [9]. Кроме того, задачей спецификаций WS-Notifications и WS-Resource Framework является обеспечение стандартизованного способа программирования бизнес-приложений, автоматически реагирующих на отказ аппаратуры сервера и другие неблагоприятные изменения [8].

Авторизация доступа к динамическим пространственно-временным данным предлагается сценарий компании CycloMedia Technology, занимающейся панорамной фотографией высокой метрической точности и высокоскоростной визуальной регистрации, и компонентами Oracle Database Enterprise Edition: опциями Spatial и Virtual Private Database (виртуальная частная база данных) [10]. Были выявлены недостатки авторизации при доступе к динамической коллекции объектов большой группы пользователей, связанные с архитектурой системы и необходимой степенью масштабируемости при требуемой скорости и точности данных.

Используемый сегодня механизм авторизации SQL ограничен уровнем таблиц, представлений и столбцов. Создание представлений для каждого отдельного пользователя не является масштабируемым при большом числе пользователей и при изменяющихся политиках. Включение управления доступом в приложение конечного пользователя представляется весьма проблематичным, если у вас не имеется никакого контроля над источником приложения, или если вы используете несколько приложений. Изменения в политике авторизации должны быть также применены к многочисленным механизмам контроля, но даже в этом случае все должно зависеть от политики обновления приложений.

Предлагается модель детального управления доступом или организацией защиты на уровне строки (row-level security - RLS), при котором сформулированный пользователем запрос переписывается в новый запрос, который выполняется системой. К преимуществам этой модели (по мнению автора) следует отнести единую точку принудительного проведения авторизации, вариант с наличием динамического сбора данных, возможности запросов конечного пользователя и эффективную обработку данных (которая является главным аспектом для пространственных данных).

Применительно к организации защиты виртуальной частной базы данных Oracle (Virtual Private Database Oracle - VPD) предлагается новый способ управления доступом к данным, основанный на использовании функции правил разграничения доступа, прикрепленную к таблице или к представлению базы данных, которая будет выполняться каждый раз, когда к ним делается запрос.

Для использования предлагаемой архитектуры был разработан специальный программный компонент. Он базируется на использовании трехмерного приложения сервиса Google Earth, которое может динамически отыскивать данные с Web-сервера в формате KML (Keyhole Markup Language - гипертекстовый язык разметки, разработанный компанией

Keyhole). Для аутентификации используется базовая аутентификация HTTP.

Она показывается в Google Earth после активизации сетевого канала, нацеленного на Web-сервер: Web-сервер использует предложенный мандат для соединения с базой данных. После успешного соединения, могут выполняться запросы. Результаты преобразуются в формат KML и возвращаются в приложение ГИС. В запросы, формулируемые сервером, не включены никакие механизмы авторизации данных, потому что задача включения механизмов авторизации полностью возлагается на механизм VPD в базе данных.

В СУБД для управления данными предлагается ввести динамическую авторизацию динамических коллекций данных по пространственным и временным измерениям, поддерживая поиск с помощью использования модели Трумэна при использовании механизма авторизации SQL и журналируемой файловой системы (SFS). Это отличается от реализации Oracle VPD, которая отделяет спецификацию политики от модели предоставления привилегий SQL.

В системе Oracle при работе в среде Internet Application Server система безопасности должна предоставлять решения для создания интерактивных веб-страниц. При запуске в web-сервере Oracle приложения PL/SQL, JSP (Java Server Pages), XSQL, или java-сервлетов, обеспечиваемых Oracle Application Server, осуществляется его обработка и, если необходимо, соединение с сервером базы данных после аутентификации и проверки полномочий пользователя на совершение требуемых действий. Создание, конфигурирование и аутентификация пользователей с соблюдением прав доступа должны быть усилены в случае открытого использования системы [7].

Как можно видеть из публикаций, для обеспечения безопасности в последнее время все больше применяются алгоритмы искусственного интеллекта, в первую очередь, метод нейронных сетей, реализуемый на разных уровнях защиты.

В случае обеспечения безопасности пространственных данных по сравнению с другими данными распределенных систем существуют дополнительные проблемы организационного и вычислительного характера.

1. Отсутствие межгосударственной и даже межведомственной координации в РФ в предметной области защиты информации, цифровой картографической продукции и данных геоинформационных систем.

2. Необходимость бессрочного хранения данных при решении большого количества решаемых задач.

3. Необходимость согласования данных из различных хранилищ данных, хранимых в различных форматах.

4. Высокая точность определения координат, представленных не только в системе WGS 84.

Защита геоинформационных систем и геоинформационных распределенных систем представляет собой еще более сложную задачу [19,20,22].

Основным методом защиты для цифровых топографических карт предлагается сделать метод шифрования метрики цифровых карт [22].

На практике пользователи должны создавать специализированные хранилища данных, ограниченные как кругом решаемых задач (и, соответственно, масштабом), так и их местоположением на местности.

Для этой цели помимо обычно рассматриваемых 4 уровней защиты: уровня прикладного программного обеспечения (ПО); уровня, отвечающего за взаимодействие с пользователем; уровня СУБД, отвечающего за хранение и обработку данных уровня операционной системы (ОС), и уровня сети, отвечающего за взаимодействие узлов системы, требуется добавить периодический аудит данных и контроль согласованности при консолидации данных из всех источников. Для временного хранения данных аудита можно использовать «песочницы».

При выборе технологий для консолидации баз данных нужно учитывать предполагаемый объём данных, требования к производительности и безопасности, а также наличие специфических требований к базе данных.

При консолидации можно применить метод ETL (Extract, Transform, Load - (извлечение, преобразование и загрузка) [23]. Этот метод работы с данными включает несколько этапов. Извлечение данных из различных источников, как правило, через API или другое ПО; затем их преобразование - очистку, фильтрацию, сопоставление и объединение данных из разных источников. Далее данные загружаются в базу пространственных данных, где они могут быть проанализированы и обработаны в соответствии с поставленной задачей.

Таким образом, при решении задач, использующих пространственные данные, часто возникает необходимость их консолидации из источников получения в новую проблемно-ориентированную БПД. Для защиты БПД к общепринятым средствам защиты распределенных систем необходимо добавить процедуры согласования всех добавляемых данных в хранилище с уже имеющимися данными для исключения ошибок преобразования форматов, координат, границ, масштабов и др. к единому представлению с допустимой точностью.

### **Библиографический список**

1. С. Кутехов, Защита информационных ресурсов корпоративной сети от несанкционированного доступа
2. ГОСТ Р ИСО/МЭК 15408-1-2012. Национальный стандарт Российской Федерации. Информационная технология. Методы и средства обеспечения безопасности. Критерии оценки безопасности информационных технологий, <https://docs.cntd.ru/document/1200101777>
3. Д.П. Зегжда., М.О. Калинин. Автоматизированное обнаружение уязвимостей настроек безопасности в защищенных операционных системах. <https://textarchive.ru/c-1622853-p3.html>
4. С. В. Коротков, А. Е. Скосаренко, Р. С. Жавнис. Пути повышения достоверности обмена информацией и производительности при использо-

- вании стандартного протокола TCP/IP в сетях с низкоскоростными каналами передачи данных. <https://textarchive.ru/c-1622853-p3.html>.
5. Архитектура защиты Globus., [https://studopedia.su/10\\_85395\\_arhitektura-zashchiti-Globus.html?ysclid=lrjwc7552592342341](https://studopedia.su/10_85395_arhitektura-zashchiti-Globus.html?ysclid=lrjwc7552592342341).
  6. Аграновский А.В., Хади Р.А., Ерусалимский Я.М., "Криптография и открытые системы", М: Машиностроение, Телекоммуникации, №2, 2001. С. 13–23.
  7. Е. С. Абрамов, Л. К. Бабенко, О. Б. Макаревич, О. Ю. Пескова. Защита информационных процессов в распределенных компьютерных системах., <https://textarchive.ru/c-1622853-p4.html>.
  8. Д. А. Борискин. Анализ безопасности архитектуры распределенных вычислений на основе открытых стандартов WS-Eventing и WS-Notifications., <https://textarchive.ru/c-1622853-p3.html>.
  9. С.В. Васютин. Выявление и классификация атак на основе анализа последовательностей системных вызовов. <https://textarchive.ru/c-2306230.html>
  10. Барт фон Вельден. Авторизация доступа к динамическим пространственно-временным данным. <https://www.interface.ru/home.asp?artId=21613>
  11. А.А. Грабко. Средства сигнатурного анализа в системах обнаружения атак, <https://textarchive.ru/c-2306230.html>
  12. Н.В. Гришина. Постобработка данных интернет трафика в локальных сетях в целях защиты информационных ресурсов. <https://textarchive.ru/c-2306230.html>.
  13. Е. С. Клименко., А. П. Росенко. Применение теории нечетких множеств в экспертных системах защиты информации. <https://textarchive.ru/c-2306230.html>
  14. В.В. Корнеев, В.В. Сеница, Д.В. Финогенов. О направлениях совершенствования систем обеспечения безопасности информации в ИВС на базе средств динамического мониторинга., <https://textarchive.ru/c-2306230.html>
  15. Ю.Г. Лободинский., А.А. Назаров. Выбор архитектуры модели нейронной сети при решении задач обнаружения и идентификации информационных атак на АСУ., <https://textarchive.ru/c-2306230.html>
  16. А.П. Росенко, С.П. Евстафиади, Е.В. Феник. Перспективы использования технологий искусственного интеллекта для обнаружения сетевых атак., <https://textarchive.ru/c-2306230.html>
  17. Сайт «Системы обнаружения вторжения». <https://pandia.ru/text/80/451/39006.php>.
  18. А. М. Сычев Россия, Методика структурно-функционального формирования межсетевого экрана на основе профиля защиты. <https://textarchive.ru/c-2306230.html>.
  19. Е.В. Хандыго, О.Ю. Пескова. Методы и средства перехвата и анализа сетевого трафика в системах обеспечения защиты геоинформационных систем (ГИС)., <https://textarchive.ru/c-2306230.html>.

20. В.М. Шелудько. Исследование возможных нарушений информационной безопасности в модели сетевой ГИС. <https://textarchive.ru/c-2306230.html>.
21. Э.Р. Янова Анализ защищённости в корпоративных сетях., <https://textarchive.ru/c-2306230.html>.
22. И.Г. Журкин, С.В. Шайтура. Организация защиты геопространственных данных в электронных картах. <https://textarchive.ru/c-2306230.html>
23. Консолидация баз данных: этапы, методы и примеры. <https://habr.com/ru/companies/ruvds/articles/732006/>

Научное издание

Отв. редактор  
**Вагизов** Марсель Равильевич

**ИНФОРМАЦИОННЫЕ  
СИСТЕМЫ И ТЕХНОЛОГИИ:  
ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА**

Сборник научных трудов

Выпуск 16

*В авторской редакции с готового оригинал-макета*

---

Подписано с оригинал-макета 06.06.2024

Уч.-печ.л. 12,75. Заказ № 42

---

Санкт-Петербургский государственный  
лесотехнический университет имени С.М. Кирова  
Издательско-полиграфический отдел СПбГЛТУ  
194021, Санкт-Петербург, Институтский пер., 3