

# Международный журнал информационных технологий и энергоэффективности



Том 9 Номер 7 (45)



2024



## СОДЕРЖАНИЕ / CONTENT

### ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

- 
- |    |   |          |
|----|---|----------|
| 1. | <b>Стальмаков И.А., Зернов М.М.</b> Динамический выбор алгоритмов нахождения пути | <b>6</b> |
|    | <b>Stalmakov I.A. Zernov. M.M.</b> Dynamic selection of path finding algorithms   |          |
- 
- |    |   |           |
|----|---|-----------|
| 2. | <b>Мелихова К.А., Томилин Е.С.</b> Сравнительный анализ производительности фреймворков React, Next и Astro    | <b>15</b> |
|    | <b>Melikhova K. A., Tomilin E.S.</b> Analysis of React, Next, and Astro Frameworks Performance Implementation |           |
- 
- |    |   |           |
|----|---|-----------|
| 3. | <b>Абдыкадыр Д.А.</b> Автоматизация прогнозирования личностных тестов с использованием методов машинного обучения | <b>22</b> |
|    | <b>Abdikadir D.A.</b> Automating the Prediction of Personality Tests Using Machine Learning Techniques            |           |
- 
- |    |  |           |
|----|--|-----------|
| 4. | <b>Висутнов С.С., Ахrameева К.А.</b> Экосистема в мире информационной безопасности   | <b>34</b> |
|    | <b>Visutnov S.S., Akhrameeva K.A.</b> Ecosystem in the world of information security |           |
- 
- |    |   |           |
|----|---|-----------|
| 5. | <b>Сеналов Ф., Амангельдин М.</b> Разработка модели блокчейн механизма для автоматизации оповещения о ДТП с целью оказания первой помощи пострадавшим                       | <b>41</b> |
|    | <b>Senalov F., Amangeldin M.</b> Development of a Blockchain Mechanism Model for Automating Traffic Accident Notification for the Purpose of Providing First Aid to Victims |           |
- 
- |    |  |           |
|----|--|-----------|
| 6. | <b>Кодиркулов Ж.Р.</b> Разработка ETL-системы для загрузки в хранилище банковской статистики                                     | <b>52</b> |
|    | <b>Kodirkulov Z.R.</b> Development of Extract, Transform, Load (ETL) Processes for Uploading to the Banking Statistics Warehouse |           |
- 
- |    |  |           |
|----|--|-----------|
| 7. | <b>Гулько А.С., Мусихин А.Г.</b> Оптимизация архитектуры баз данных информационных систем при обработке больших объемов информации             | <b>63</b> |
|    | <b>Gunko A.S., Musikhin A.G.</b> Optimization of the Database Architecture of Information Systems when Processing Large Amounts of Information |           |
- 
- |    |  |           |
|----|--|-----------|
| 8. | <b>Баженов А.Э., Мадатов Д.А.</b> Оптимизация сетевого трафика в корпоративных сетях     | <b>68</b> |
|    | <b>Bazhenov A.E., Madatov D.A.</b> Optimization of Network Traffic in Corporate Networks |           |
-

9.	<b>Копбосынов А.А.</b> Эволюция фронтенд-разработки: переход от client-side rendering к server-side rendering	<b>71</b>	
	<b>Kopbosynov Z.R.</b> The Evolution of Frontend Development: Transition from Client-Side Rendering to Server-Side Rendering		
10.	<div>Статья отозвана автором</div>		<b>77</b>
11.	<b>Студенников М.Р.</b> Реализация версионности с помощью древовидно графовой структуры данных	<b>84</b>	
	<b>Studennikov M.R.</b> Implementation of Versioning Using a Tree-Graph Data Structure		
12.	<b>Талип А.К.</b> Обзор экосистемы Hadoop в области больших данных	<b>97</b>	
	<b>Talip A.K.</b> Overview of the Hadoop Ecosystem in Big Data		
13.	<b>Басова А.Н.</b> Концептуальный анализ современных подходов и программных инструментов обеспечения кибербезопасности	<b>104</b>	
	<b>Basova A.N.</b> Conceptual Analysis of Modern Approaches and Software Tools for Cybersecurity		
14.	<b>Зайцев И.А.</b> Линейная мера на основе акустооптических взаимодействий	<b>115</b>	
	<b>Zaitsev I.A.</b> A Linear Measure Based on Acoustic-Optical Interactions		
15.	<b>Кирпичев Д.С., Шпедер Д.А, Трокоз Д.А.</b> Обзор существующих методов сжатия видеоданных	<b>121</b>	
	<b>Kirpichev D.S., Shpeder D.A., Trokoz D.A.</b> Overview of Existing Video Data Compression Methods		
16.	<b>Блащук О.Д.</b> Использование технологии дополненной реальности в качестве средства визуализации товаров и услуг	<b>130</b>	
	<b>Blashchuk O.D.</b> Use of Augmented Reality Technology as a Means of Visualizing Goods and Services		
17.	<b>Жумадир Н.</b> Исследование эффективности модели интегрированного обучения на рабочем месте(WIL) для объединения усилий правительства, образования и промышленности в подготовке инженерных кадров	<b>141</b>	
	<b>Zhumadir N.</b> Investigating the Effectiveness of Work-Integrated Learning Model in Connecting Government, Education and Industry in Training Engineering Personnel		
18.	<b>Глезова П.Е., Давыдова О.Я.</b> К вопросу о применении метаэвристического подхода к оптимизации параметров временных задержек в системе автоматизации тестирования веб-приложений	<b>152</b>	
	<b>Glazova P.E., Davydova O.Ya.</b> On the Application of a Metaheuristic Approach to Optimizing Time Delay Parameters in a Web Application Testing Automation System		
19.	<b>Коняев Е.А.</b> Анализ реальных физических объектов, формализованных системами массового обслуживания, с использованием сетей Петри	<b>159</b>	

	<b>Konyaev E.A.</b> Analysis of Real Physical Objects, Formalized by Mass Systems Services Using Petri Nets	
20.	<b>Торопов Д.Ю.</b> Анализ и проведение эксперимента по тестированию веб-приложения с использованием контейнеров	<b>168</b>
	<b>Toropov D.Y.</b> Analysis and Conducting an Experiment to Test a Web Application Using Containers	
21.	<b>Ильясов Р.Р., Атнабаев А.Ф.</b> Применение дистанционного зондирования земли для оценки изменения пространственных объектов во времени	<b>173</b>
	<b>Ilyasov R.R., Atnabaev A.F.</b> The Use of Remote Sensing of the Earth to Assess Changes in Spatial Objects Over Time	
22.	<b>Карасёв Д.М.</b> Применение методов машинного обучения для прогнозирования финансовых показателей страховой компании	<b>178</b>
	<b>Karasev D.M.</b> The Use of Machine Learning Methods to Predict the Financial Performance of an Insurance Company	
23.	<b>Лескова Д.О., Сафонова Т.В., Муленко М.Д., Мокряк А.В.</b> Геймификация в образовании: влияние на мотивацию и результаты обучающихся	<b>187</b>
	<b>Leskova D.O., Safonova T.V., Mulenko M.D., Mokryak A.V.</b> Gamification in Education: Impact on Student Motivation and Results	
24.	<b>Тикки Д.А., Никольский В.Е., Самошкин Н.С., Сафонова Т.В., Мокряк А.В.</b> Применение технологии фабрики данных	<b>195</b>
	<b>Tikki D.A., Nikolsky V.E., Samoshkin N.S., Safonova T.V., Mokryak A.V.</b> Application of Data Factory Technology	
25.	<b>Баженов А.Э., Тамбовцев Д.А.</b> Моделирование и оптимизация беспроводных сетей: технологии и методы	<b>203</b>
	<b>Bazhenov A.E., Tambovtsev D.A.</b> Modeling and Optimization of Wireless Networks: Technologies and Methods	
26.	<b>Шаханова М.В., Евдокимов И.С., Шаханова Э.С.</b> Аналитический обзор криптографических атак на SHA-512	<b>207</b>
	<b>Shakhanova M.V., Evdokimov I.S., Shakhanova E.S.</b> Analytical Review of Cryptographic Attacks on Sha-512	



---

## ЭНЕРГЕТИКА И ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ

---

27. **Иванюк В.В., Симахин А.С.** Анализ технических средств, контроль состояния распределительных сетей 10/0,4КВ **213**

**Ivanyuk V.V., Simakhin A.S.** Analysis of Technical Means, Monitoring of The Condition of 10/0.4KV Distribution Networks

28. **Афанасьев П.И., Трегуб Н.А.** Оценка устойчивости подземного магистрального газопровода из полиэтилена при сейсмовзрывном воздействии **220**

**Afanasyev P.I., Tregub N.A.** Assessment of the Stability of an Underground Polyethylene Main Gas Pipeline Under Seismic and Explosive Effects

29. **Карипова В.Н., Цечоев А.Х.** Исследование вибропараметров ступеней погружных центробежных электронасосов **236**

**Karipova V.N., Tsechoev A.Kh.** Investigation of Vibration Parameters of Stages of Submersible Centrifugal Electric Pumps

30. **Камалова Д.М., Минина Д.К., Леонов Д.Д., Яропуда Н.А., Беляев С.В.** Обзор методов краткосрочного прогнозирования выработки электроэнергии фотоэлектрическими станциями **242**

**Kamalova D.M., Minina D.K., Leonov D.D., Yaropuda N.A., Belyaev S.V.** Review of Methods for Short-Term Forecasting of Photovoltaic Power Generation

31. **Мясников С.О., Купцов Д.В., Титков Н.А., Селезнев И.А., Минина Д.К.** Обзор существующих систем мониторинга состояния высоковольтных выключателей **250**

**Myasnikov S.O., Kuptsov D.V., Titkov N.A., Seleznev I.A., Minina D.K.** Overview of Existing Monitoring Systems for High-Voltage Circuit Breakers

---



Международный журнал информационных технологий и  
энергоэффективности

Сайт журнала: <http://www.openaccessscience.ru/index.php/ijcse/>



УДК 519.688

## ДИНАМИЧЕСКИЙ ВЫБОР АЛГОРИТМОВ НАХОЖДЕНИЯ ПУТИ

**Стальмаков И.А., Зернов М.М.**

*ФГБОУ ВО «НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ «МЭИ» ФИЛИАЛ в г. Смоленске, Смоленск, Россия (214013, г. Смоленск, Энергетический проезд, 1), e-mail: keid.votvakson@yandex.ru*

В работе рассмотрены проблемы поиска пути в динамических (генерируемых) виртуальных средах на основе единого базового алгоритма. Предложены принципы построения комбинированного алгоритма, использующего набор базовых алгоритмов, выбор среди которых осуществляется для отдельных участков среды. Рассмотрены показатели, которые можно использовать в качестве исходной информации, исходя из которой будет осуществляться выбор алгоритма.

Ключевые слова: Динамическая среда, комбинированный алгоритм, поиск пути.

## DYNAMIC SELECTION OF PATH FINDING ALGORITHMS

**Stalmakov I.A .Zernov. M.M**

*FEDERAL STATE-FUNDED EDUCATIONAL INSTITUTION OF HIGHER PROFESSIONAL EDUCATION SMOLENSK STATE UNIVERSITY NATIONAL RESEARCH UNIVERSITY MPEI BRANCH IN SMOLENSK, Smolensk Russia (214013, Smolensk, Energetic Passage, 1), e-mail: keid.votvakson@yandex.ru*

The paper examines the problems of finding a path in dynamic (generated) virtual environments based on a single basic algorithm. The principles of constructing a combined algorithm using a set of basic algorithms are proposed, the choice among which is carried out for individual sections of the environment. Indicators that can be used as initial information on the basis of which the algorithm will be selected are considered.

Keywords: Dynamic environment, combined algorithm, pathfinding.

### Введение

В условиях быстрого развития технологий и автоматизации возникает все большая потребность в эффективных алгоритмах планирования пути для различных типов сред. Генерируемые среды, такие как пространства виртуальных миров, моделей имитации робототехнических систем и компьютерных игровых миров, представляют собой особый вызов для разработчиков, поскольку они часто динамичны и разнообразны.

Использование фиксированного алгоритма поиска пути, ориентирующего на наиболее сложные условия, может привести к недостаточной производительности алгоритмов в среднем и завышенному потреблению вычислительных ресурсов.

Для решения этой проблемы предлагается подход, основанный на динамическом выборе алгоритма в зависимости от характеристик среды. Этот подход позволяет оптимизировать процесс планирования пути, выбирая наиболее подходящий алгоритм в каждом конкретном случае

### Актуальность

Для того, чтобы оптимизировать перемещение в виртуальных средах разработки идут на разного рода ухищрения. Одним из направлений оптимизации является выбор представления карты. Здесь и далее будем ориентироваться на задачу поиска маршрута в игровой среде, как наиболее универсальную.

Основными типами представления игровой карты местности для дальнейшего поиска пути, являются:

- условно-непрерывное представление (собственно, координатное пространство со списком размещённых на ней объектов-препятствий);
- условно-непрерывное представление (собственно, координатное пространство со списком размещённых на ней объектов-препятствий);
- дискретное представление карты с отметками проходимых и не проходимых участков — часто выступает в качестве промежуточного представления в процессе обработки карты с целью формирования более сложных представлений;
- граф соседства проходимых участков на основе регулярной сетки;
- маршрутный граф, часто соответствующий скелету проходимых областей, графу дорог, типовых маршрутов и т. д.;
- навигационный граф — граф соседства проходимых областей.

Варианты 3-5 представлены на Рисунке 1.



Рисунок 1 – Графовые представления информации о карте

Графовые представления позволяют использовать эффективные алгоритмы поиска пути. Например, в соответствии с представлением в виде навигационного графа, можно разбить большую карту на несколько маленьких участков[1]. Затем определить зазоры, рассчитать расстояния между всеми точками и применить иерархический аннотированный алгоритм A\*. Пример перехода от дискретного представления к представлению в виде навигационного графа представлен на Рисунке 2. Такой подход даёт почти оптимальные решения и на практике требует небольших затрат памяти.

По сути, переход к одному из вариантов графового представления обеспечивает сжатие информации. В идеале, подобрать такое представление карты, которое бы обеспечивало наименьшее количество узлов графового представления (наилучшее сжатие) при сохранении достаточной точности решения и «правдоподобности» пути с точки зрения поведения игрового персонажа[2]. Заметим, что построение представлений карты для применения высокоэффективных алгоритмов на графах, как правило, сопряжено с трудоёмким этапом первоначального

чального анализа карты, на который переносится значительная часть вычислений.

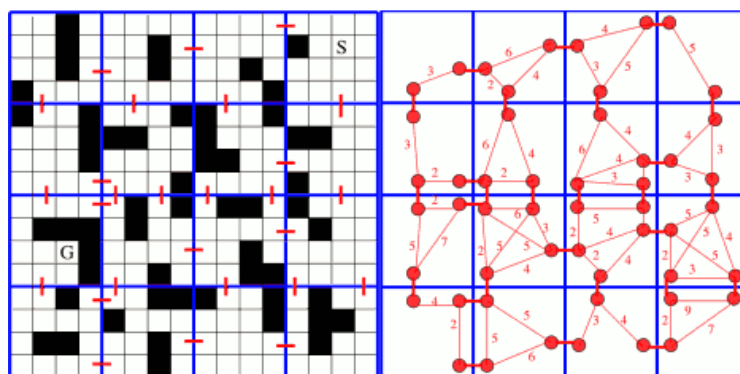


Рисунок 2 – Переход от дискретного представления карты к навигационному графу

Другим направлением повышения эффективности поиска пути является построение асинхронного алгоритма. Т.е. можно разбить процесс поиска на несколько кадров и за счёт этого снизить требования по быстродействию. Например, раз в кадр можно выполнять проверку соседних участков (Рисунок 3) [2]

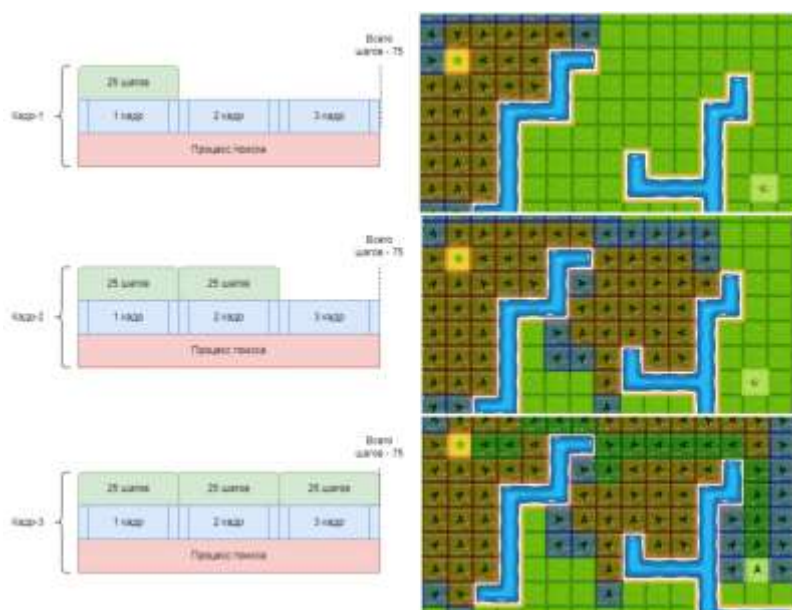


Рисунок 3 – Разбиение алгоритма на кадры

Любое такое решение влечёт за собой некоторые проблемы. Большинство оптимизаций строго привязаны к конкретным алгоритмам. И не всегда есть возможность подобрать более легковесное решение для более простых условий, что влечёт повторную разработку решения. Отметим, что эффективность алгоритмов, использующих сжатие информации на основе графов перекладывает затраты вычислительных ресурсов и времени на этап анализа карты. А это не всегда приемлемо при процедурной генерации. К тому же в местах, где, к примеру, нет препятствий, сложный анализ для обеспечения работы соответствующего алгоритма не требуется.

Это приводит к различного рода «оптимизациям» программного кода, «отключающим» анализ на основе процедурных эвристик. В условиях процедурно-генерируемых миров будет

требоваться постоянное вмешательство разработчика. Это делает систему на основе «базового универсального алгоритма» в целом менее поддерживаемой, так как для разных генерируемых миров будет требоваться разный подход к формированию эвристик, что в конечном итоге сильно усложнит разработку программных средств.

Наиболее привлекательным вариантом здесь выступает алгоритм, который мог бы динамически выбирать разные алгоритмы пути в зависимости от наличия и типа препятствий на участке местности. Данный подход имеет следующие преимущества.

**1. Уменьшение времени анализа карты и оптимизация используемых при этом ресурсов** - поскольку выбор алгоритма определяется в зависимости от конкретных условий среды, причём для отдельных участков, это может привести к улучшению производительности системы в целом за счет применения «менее требовательных» алгоритмов там, где их достаточно. Таким образом, для достаточно свободных участков, можно упростить этап анализа, в т.ч. не выделять ресурс памяти под дополнительные представления карты.

**2. Уменьшение времени нахождения пути** - использование более простых алгоритмов в условиях, где они достаточно эффективны, может значительно сократить время нахождения пути, особенно в сценариях с небольшим количеством препятствий или пустой средой.

**3. Повышение гибкости программных средств.** С одной стороны, за счёт адаптивных свойств комбинированного алгоритма, программные средства на его основе смогут эффективно сработать в системах с широким диапазоном сценариев генерации карты. С другой — модульность алгоритма позволит варьировать перечень базовых алгоритмов поиска пути, добавлять новые и централизованно определять условия их применения.

### Принципы построения комбинированного алгоритма поиска пути

Введём понятие агент. Под агентом подразумевается автономная виртуальная сущность модельной (игровой) среды. Цель агента добраться из одной точки пространства в другую. Пусть в нашем случае конечной точкой будет автобус (Рисунок 4). На карте нет каких либо объектов, с которыми наш агент мог бы столкнуться. Соответственно нет необходимости в формировании дополнительных представлений для рассматриваемого участка карты. В этом случае достаточно использовать алгоритм MoveTo [3]

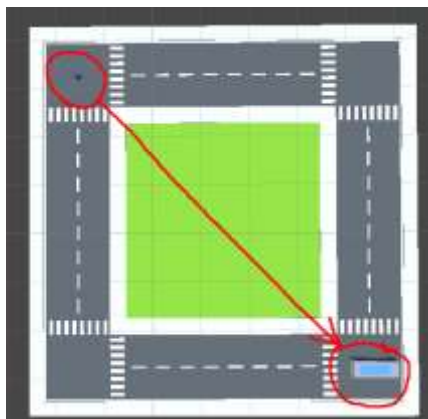


Рисунок 4 – Карта без препятствий

Если же представить, что карта имеет одно или два препятствия как на Рисунке 5, то в этом случае необходимо предпринять какие либо действия, чтобы наш агент успешно обошёл препятствие. Наиболее рациональным выбором будет алгоритм Жук(Bug) [3]

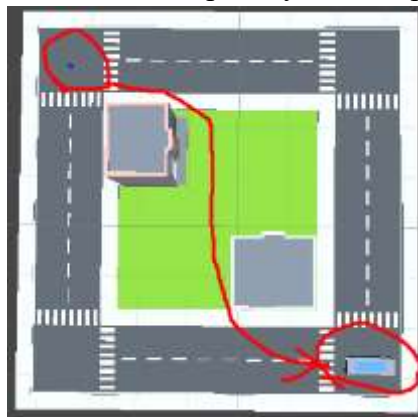


Рисунок 5 – Карта с небольшим количеством препятствий

В случае, если препятствий становится больше и они имеют более сложное расположение, как на Рисунке 6 где препятствие за первым домом более крупное и имеет некоторый угол поворота, выбор алгоритма bug будет не рационален, поскольку приведёт к непредсказуемому поведению. В данном случае хорошим выбором будет алгоритм потенциального поля[4].

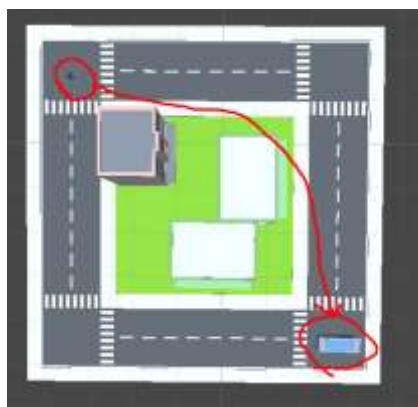


Рисунок 6 – Вариант условий эффективного использования алгоритма потенциального поля

Однако алгоритм потенциального поля плохо работает, если возникает ситуация при которой препятствия располагаются рядом с конечной точкой. В таком случае агент опять же может не найти решения. Тогда необходимо выбрать более сложное решение, к примеру алгоритм  $A^*$ . Но также стоит отметить, что иногда возникают ситуации, когда выбрать алгоритм Дейкстры или жадный алгоритм BFS гораздо более рационально, чем выбрать алгоритм  $A^*$ [2].





Рисунок 7 – Более сложная карта с препятствиями

Всё это мысленно подводит нас к тому, чтобы сконцентрироваться на выборе наилучшего алгоритма исходя из данных о препятствиях. Какие данные могут быть для нас полезны в данном случае?

1. Соотношение свободных участков карты и препятствующих. Эта информация может помочь нам не только для того, чтобы сделать выбор между алгоритмом потенциального поля и алгоритмом  $A^*$ , но также определить бюджет и тип (синхронный/асинхронный) для того, чтобы оптимизировать работу  $A^*$ .

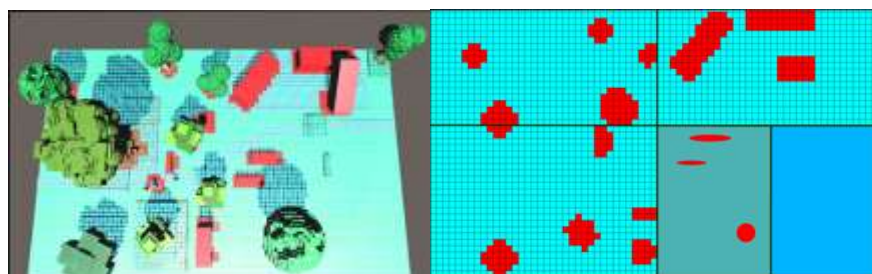


Рисунок 6 – карта препятствий и её анализ

2. Каждое препятствие также можно представить как некоторый граф [5, 6], у которого есть топологические характеристики, такие как структурная избыточность, компактность, диаметр и индекс центральности. По этим характеристикам можно выдвинуть некоторые предположения о характере препятствий.

В данном случае имеет смысл разбивать игровую карту на отдельные участки и анализировать препятствия в них. Рассмотрим, какую информацию несут топологические характеристики препятствий.

Структурная связность [7] может сказать нам о том, является ли граф замкнутым. Эта информация может быть очень важной как для выбора алгоритма, так и для выбора разрешения. Например, на Рисунке 10, разрешение для анализа участка внутри замкнутого препятствия избыточно.



Рисунок 10 - Замкнутое и незамкнутое препятствие

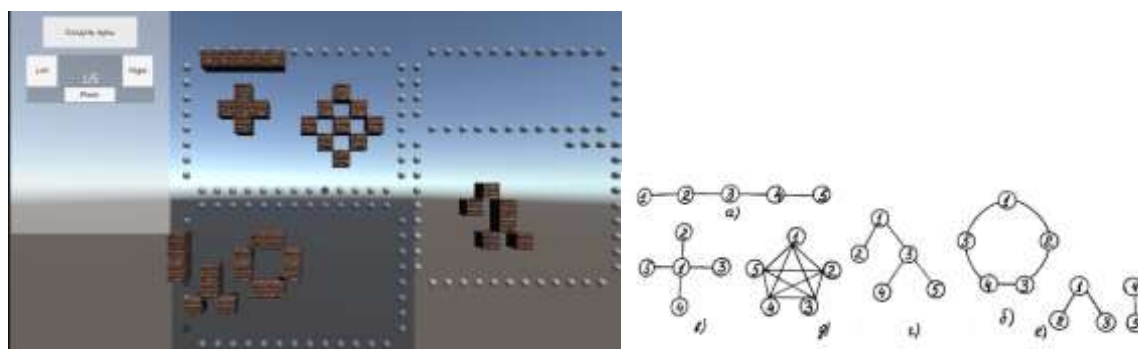


Рисунок 11 – Набор нескольких графов

Таблица 1 – Структурно-топологические характеристики, по которым можно определить вид графа

Вид структуры	Структурная избыточность		Структурная компактность $Q_{отно}$	Диаметр структуры $d$	Индекс центральности $\alpha$
	$R$	$\xi^2$			
А	0	1.2	1	4	0.7
Б	0.25	0	0.5	2	0
В	0	7.2	0.6	2	1
Г	0	3.2	0.8	3	0.8
Д	1.5	0	0	1	0
Е	-0.25	-	-	-	-

Совокупность показателей также можно использовать для классификации препятствий. На рисунке 11 представлен набор препятствий и соответствующих им графов. В Таблице 1 им сопоставлены значения структурно-топологических характеристик. Наличие препятствий определённого вида может ограничивать выбор алгоритма. Например, наличие препятствия, близкого к полному графу приводит к неэффективности алгоритма потенциального поля.

### Заключение

Проблемы применения подхода на основе единого базового алгоритма для поиска пути в генерируемых средах приводят к необходимости искать более гибкие и производительные (в динамике) решения. Анализ всей карты, как при статическом подходе, оказывается уже непозволительно долгим. Кроме того, в условиях отдельных участков местности, часто ока-

зываются эффективны простые алгоритмы, ориентированные на пространства с малым количеством препятствий.

В результате предложены основные принципы построения комбинированного алгоритма — выбор своего алгоритма поиска пути из заранее определённого набора для отдельных участков карты, анализ участков карты с точки зрения количества, плотности размещения и топологии препятствий.

### Список литературы

1. Wand, Haifeng & Zhou, Jiawei & Zheng, Guifeng & Liang, Yun(2014). HAS: Hierarchical A-Star Algorithm for Big Map Navigation in Special  
[https://www.researchgate.net/publication/301410542\\_HAS\\_Hierarchical\\_A-Star\\_Algorithm\\_for\\_Big\\_Map\\_Navigation\\_in\\_Special\\_Areas](https://www.researchgate.net/publication/301410542_HAS_Hierarchical_A-Star_Algorithm_for_Big_Map_Navigation_in_Special_Areas) Дата публикации: 14.11.2014. Режим доступа: По запросу (дата обращения: 7.5.2024)
2. Game AI Pro – Collected Wistom of Game AI Professionals /CRC Press Publishing AG 2014 – 612 с.
3. Статья на хабре: «Чему игровой ИИ может научить робототехнику» - Режим доступа: <https://habr.com/ru/articles/349044/> Дата публикации: 16.2.2018. Режим доступа: Свободный (дата обращения: 12.12.2023)
4. Исследование алгоритма планирования пути, объединяющего оптимизационный алгоритм A-Star и метод искусственного потенциального поля: MDPI [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.mdpi.com/2079-9292/11/22/3660> Дата публикации: 30.10.2022. Режим доступа: Свободный (дата обращения: 15.4.2024)
5. Введение в теорию графов / Уилсон Р.: Пер. с англ. - СПб. : ООО "Диалектика", 2019. - 240 с.
6. Алгоритм создания карт топологии для поиска оптимального пути для карт на основе изображений: MDPI [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.mdpi.com/2076-3417/12/23/12436> Дата публикации: 11.10.2022. Режим доступа: Свободный (дата обращения: 15.4.2024)
7. Программирование на C, C# и Java: Структурно – топологические характеристики систем – Режим доступа: <https://vscode.ru/articles/struct-topolog-charact-system.html> Дата публикации: 19.5.2015. Режим доступа: По запросу (дата обращения: 7.5.2024)

### References

1. Wand, Haifeng & Zhou, Jiawei & Zheng, Guifeng & Liang, Yun(2014). HAS: Hierarchical A-Star Algorithm for Big Map Navigation in Special  
[https://www.researchgate.net/publication/301410542\\_HAS\\_Hierarchical\\_A-Star\\_Algorithm\\_for\\_Big\\_Map\\_Navigation\\_in\\_Special\\_Areas](https://www.researchgate.net/publication/301410542_HAS_Hierarchical_A-Star_Algorithm_for_Big_Map_Navigation_in_Special_Areas) Publication date: 11/14/2014. Access mode: On request (date of access: 7.5.2024)
2. Game AI Pro – Collected Wistom of Game AI Professionals /CRC Press Publishing AG 2014 – 612 с.
3. Article on Habré: “What gaming AI can teach robotics” - Access mode: <https://habr.com/ru/articles/349044/> Date of publication: 2/16/2018. Access mode: Free (access date: 12/12/2023)
4. Study of a path planning algorithm combining the A-Star optimization algorithm and the arti-

- ficial potential field method: MDPI [Electronic resource]. – URL: <https://www.mdpi.com/2079-9292/11/22/3660> Date of publication: 10/30/2022. Access mode: Free (date of access: 15.4.2024)
5. Introduction to graph theory / Wilson R.: Per. from English - St. Petersburg. : Dialectics LLC, 2019. - 240 p.
  6. Algorithm for creating topology maps to find the optimal path for maps based on images: MDPI [Electronic resource]. – URL: <https://www.mdpi.com/2076-3417/12/23/12436> Date of publication: 10/11/2022. Access mode: Free (date of access: 15.4.2024)
  7. Programming in C, C# and Java: Structural - topological characteristics of systems - Access mode: <https://vscode.ru/articles/struct-topolog-charact-system.html> Date of publication: 19.5.2015. Access mode: On request (date of access: 7.5.2024)
-



Международный журнал информационных технологий и  
энергоэффективности

Сайт журнала:

<http://www.openaccessscience.ru/index.php/ijcse/>



УДК 004.424

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ФРЕЙМВОРКОВ REACT, NEXT И ASTRO

<sup>1</sup>Мелихова К.А., <sup>2</sup>Томилин Е.С.

ФГАОУ ВО "НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, МЕХАНИКИ И ОПТИКИ (ИТМО)", Санкт-Петербург, Россия (197101, город Санкт-Петербург, Кронверкский пр-кт, д. 49 литер а), e-mail: <sup>1</sup>kcniamelihova@gmail.com, <sup>2</sup>tomilin229@gmail.com

В данной статье было проведено сравнение производительности веб-фреймворков: React, Next и Astro. Для каждого из них были разработаны три однотипных тестовых веб-приложения, каждое из которых представляло собой сайт с несколькими страницами. С использованием библиотеки Puppeteer проведено 10 циклов тестирования, имитирующих реальное взаимодействие с приложением, для измерения параметров производительности, таких как время первой отрисовки, время рендеринга, время загрузки страницы, потребление памяти. Результаты анализа показали, что фреймворк Next демонстрирует лучшую производительность по сравнению с React и Astro.

Ключевые слова: React, Next, Astro, Puppeteer, веб-приложение, фреймворк, производительность приложения, эффективность приложения.

## ANALYSIS OF REACT, NEXT, AND ASTRO FRAMEWORKS PERFORMANCE IMPLEMENTATION

<sup>1</sup>Melikhova K. A., <sup>2</sup>Tomilin E. S.

NATIONAL RESEARCH UNIVERSITY OF INFORMATION TECHNOLOGIES, MECHANICS AND OPTICS (ITMO), St. Petersburg, Russia (197101, St. Petersburg, Kronverkskiy pr-kt, 49, lit. a), e-mail: <sup>1</sup>kcniamelihova@gmail.com, <sup>2</sup>tomilin229@gmail.com

This study presents a performance comparison of web frameworks: React, Next, and Astro. Three identical test web applications were developed for each framework, each representing a website with multiple pages. Using the Puppeteer library, 10 testing cycles were conducted, simulating real interaction with the application, to measure performance parameters such as first paint time, rendering time, page load time, and memory consumption. The analysis results revealed that the Next framework demonstrates superior performance compared to React and Astro.

Keywords: React, Next, Astro, Puppeteer, web application, framework, application performance, application efficiency.

### Введение

На данный момент в области веб-разработки широко используются различные фреймворки, предназначенные для оптимизации процесса создания веб-приложений. Большинство из них ориентированы на язык программирования JavaScript, который в настоящее время считается стандартом для разработки веб-приложений. По данным индекса ТЮВЕ, который является показателем популярности языка программирования, данный язык на момент марта 2024 года находится на 7 месте. Существует множество фреймворков, каждый из которых нацелен на достижение конкретных целей или улучшение определенных

аспектов разработки. Некоторые из них фокусируются на создании и управлении пользовательским интерфейсом, в то время как другие стремятся улучшить взаимодействие с сервером. В данном исследовании рассмотрены следующие фреймворки: React, Next и Astro.

React — это js-фреймворк, разработанный для создания пользовательских интерфейсов. В основе React лежит концепция CSR (Client-Side Rendering), при которой процесс отображения веб-страницы выполняется прямо в браузере клиента. Основным принципом работы React заключается в использовании виртуального DOM, который отслеживает изменения состояния и передает их в поддерева узлов. Механизм согласования React сравнивает предыдущую модель пользовательского интерфейса с новой, выявляет изменения и применяет соответствующие обновления только в реальном DOM, тем самым уменьшая количество операций с DOM [1].

Фреймворки Next.js и Astro предназначены для обеспечения рендеринга веб-страниц на сервере перед тем, как они будут отправлены клиенту (браузеру). Фреймворки такого типа предоставляют улучшенную SEO-оптимизацию, ускоряют отдачу контента, обеспечивают лучшую производительность на медленных устройствах и облегчают поддержку и масштабирование приложений [2].

### **Цель исследования**

Целью данного исследования является проведение анализа производительности трех веб-фреймворков – React, Next и Astro. Основными задачами в рамках исследования являются измерение и сравнение скорости загрузки страниц, а также общей производительности при разработке и эксплуатации веб-приложений на основе данных фреймворков. Результаты данного исследования предоставляют разработчикам информацию, необходимую для выбора наиболее подходящего фреймворка в соответствии с требованиями и спецификациями их проекта, а также для оптимизации производительности разрабатываемых веб-приложений.

### **Материал и методы исследования**

Для достижения этой цели разработаны три однотипных тестовых приложения, по одному для каждого из фреймворков. Каждое из этих приложений представляет собой веб-сайт, состоящий из трех основных страниц: домашней, страницы с постами и страницы с фотографиями. Кроме того, были созданы страницы для отдельных постов и фотографий, которые предоставляют информацию о конкретных элементах.

Методология в данной работе представлять собой эксперимент. Для оценки производительности проведено 10 циклов тестирования с использованием библиотеки Puppeteer, обеспечивающей возможность автоматизированного взаимодействия с веб-браузером. Каждый цикл тестирования включает в себя определенный набор действий, имитирующих реальное взаимодействие с приложением, такие как загрузка приложения и взаимодействие с интерфейсом. В процессе выполнения тестов были измерены различные параметры производительности, включая время загрузки страницы, отзыв интерфейса при взаимодействии с пользователем и использование ресурсов системы.

Полученные в результате эксперимента данные о производительности включали в себя время первой отрисовки, рендеринга, загрузки страницы и потребление памяти. Полученные результаты были представлены в виде графиков и анализировались с целью сравнения производительности различных фреймворков.



### Результаты исследования и их обсуждение

React — это библиотека на языке JavaScript, созданная с целью облегчить проектирование интерактивных веб-приложений. React упрощает задачу построения переиспользуемых компонентов пользовательского интерфейса, что способствует простому управлению и обновлению сложных пользовательских интерфейсов [3].

Концепции, использующиеся в библиотеке React:

1. Компонентный подход и JSX (JavaScript XML): в React JSX используется для описания структуры компонента. Данный подход предлагает синтаксис, схожий с HTML, облегчая восприятие элементов интерфейса и делая код доступным для понимания.

2. Виртуальный DOM: React использует виртуальный DOM для оптимизации процесса рендеринга. Виртуальный дом – облегченная копия реального DOM дерева. Изменения, производимые в интерфейсе, вначале реализуются в виртуальном DOM. Затем React определяет различия между актуальным и виртуальным DOM, обновляя лишь нужные элементы интерфейса, что уменьшает время рендеринга [4].

3. State и props: Эти концепции важны для управления данными внутри пользовательского компонента. Локальное состояние компонента (state) может изменяться с течением времени, что провоцирует перерисовку этой части интерфейса. Props применяются для передачи данных от родительского компонента к дочернему, что обеспечивает однонаправленный поток данных [5].

4. Экосистема и сообщество: в настоящее время React является одной из самых используемых библиотек JavaScript, имея обширную экосистему, включающую в себя много дополнительных инструментов.

5. Client Side Rendering (CSR): при рендеринге на стороне клиента браузер изначально загружает минимальную HTML-страницу и необходимый для страницы JavaScript. Затем JavaScript используется для обновления DOM и рендеринга страницы. Основной проблемой такого подхода является возможная задержка при первичной загрузке приложения. Заметная пауза до полной загрузки страницы происходит из-за того, что страница не отобразится в полном объеме до тех пор, пока не загрузится, не будет проанализирован и не выполнится весь JavaScript код [6] (Рисунок 1).

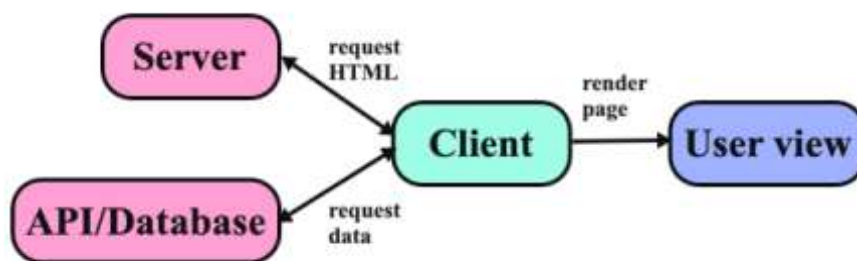


Рисунок 1 – Client-Side Rendering

Next — это платформа для создания веб-приложений, основанная на React. Она включает в себя набор инструментов, спроектированных для облегчения разработки современных и эффективных веб-приложений [7, 8].

Главные особенности Next:

1. Серверный рендеринг (SSR): при помощи Next можно создавать полноценные HTML-страницы на сервере, которые моментально отображаются на стороне клиента, что помогает уменьшить количество запросов к серверу и улучшить производительность приложения, особенно важно для SEO (Рисунок 2) [8].

2. Оптимизация для поисковых систем (SEO): благодаря SSR, Next помогает приложениям занимать более высокие позиции в поисковых системах, позволяя лучше индексировать контент.

3. Редактирование тега <head>: Next предоставляет возможность редактирования тега, что недоступно в стандартном React. Это также способствует улучшению SEO-рейтинга приложения.

4. Простота развертывания: Компания Vercel, разработчик Next.js, упрощает процесс развертывания React-приложений [9].

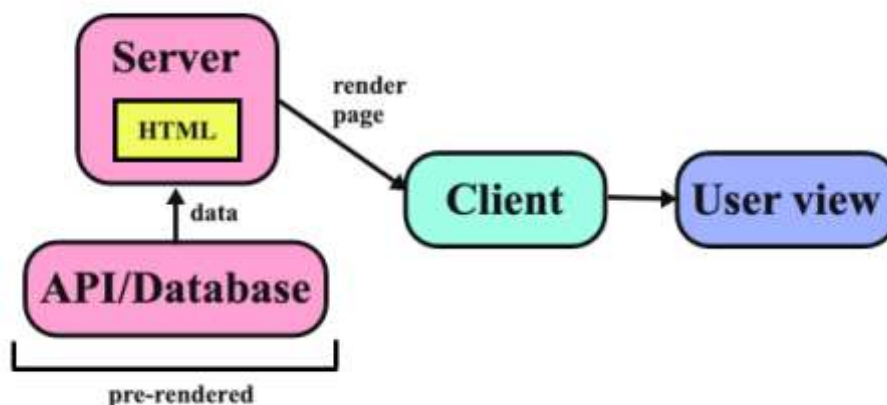


Рисунок 2 – Серверный рендеринг (SSR)

Фреймворк Astro предоставляет возможность создавать сайты без использования JavaScript при сборке. Данный фреймворк совместим с React, Vue, Angular и другие библиотеки. Главное достоинство Astro заключается в его способности по умолчанию генерировать HTML и CSS, требуя ручной разметки только для динамических элементов. Такой подход называется "архитектурой островов", где HTML и CSS играют роль воды, а JavaScript - островков.

Astro стал популярным из-за нескольких причин:

1. Высокий уровень удобства в процессе создания благодаря интеграции с Vite, обеспечивающий высокую скорость сборки.

2. Легкость интеграции и сочетания различных библиотек облегчает процесс создания веб-приложений.

3. Автономность проектов от сопровождения, благодаря использованию HTML, CSS и CDN.

4. Легкость в применении: в сравнении с React, Astro предлагает разработку проектов, требующих меньше зависимостей.

Выбор подходящего фреймворка в веб-разработке существенно влияет на производительность и эффективность приложения. Для оценки производительности веб-приложений проводятся измерения различных параметров, таких как время первой отрисовки, рендеринга, загрузки страницы, потребление памяти и другие, чтобы

соответствовать ожиданиям пользователей относительно скорости и отзывчивости приложения.

Для проведения анализа производительности фреймворков были разработаны три одинаковых тестовых веб-приложения, по одному для каждой технологии. В каждом из этих приложений есть три страницы: главная, страница с постами и страница с изображениями. Кроме основных страниц, есть отдельные страницы для постов и изображений, где можно получить информацию о каждом элементе.

В исследовании используется экспериментальный подход для оценки производительности трех фреймворков: React, Next и Astro. Эксперимент представляет собой систематически проведенное исследование, научно поставленный опыт, реализуемый в строго контролируемых условиях. Эти условия позволяют не только отслеживать процесс, но и обеспечивают возможность его повторения. В лабораторных условиях эксперимент можно провести с высокой степенью эффективности, симулируя сценарии, подобные тем, что встречаются в реальном мире. Исходя из этого, для данного исследования был выбран экспериментальный метод.

В качестве технологии тестирования был выбран Puppeteer. Данный инструмент предназначен для имитации действий пользователя на сайте, что позволяет выполнять в автоматическом режиме операции, такие как заполнение формы, клики мыши, копирование текста и т. д. С помощью Puppeteer можно добиться надежной оценки критериев производительности веб-приложения. Были выделены следующие критерия:

1. Время первой отрисовки страницы сайта;
2. Время рендеринга (время отображения всех элементов на странице);
3. Время загрузки страницы (полная загрузка страницы вместе со всеми ее компонентами – стили, скрипты);
4. Потребление памяти (объем оперативной памяти, используемый во время работы приложения);
5. Среднее время выполнения сценария на сайте (список действий со стороны пользователя).

Полученные данные по критериям позволят составить рекомендации по выбору той или иной технологии в зависимости от контекста использования. Результаты эксперимента представлены на Рисунках 3 и 4.

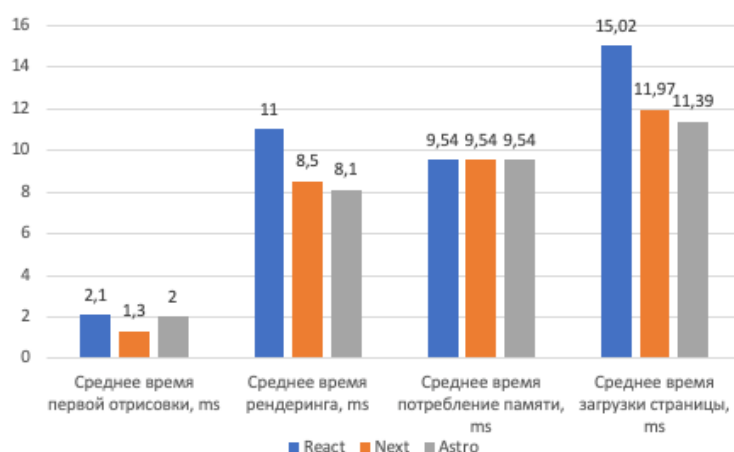


Рисунок 3. – Основные метрики производительности приложений (React/Next/Astro)

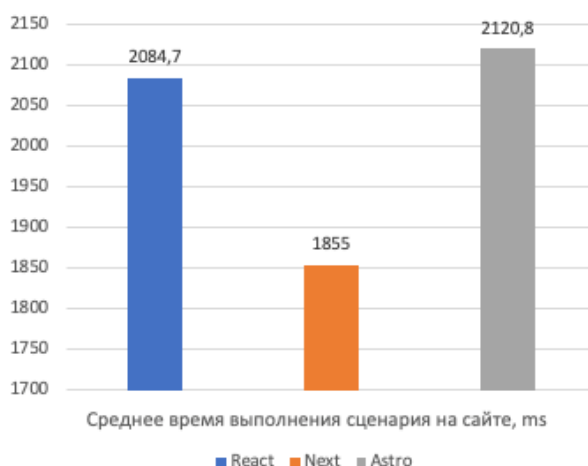


Рисунок 4. – Среднее время выполнения сценария на сайте (React/Next/Astro)

По полученным данным можно сказать, что фреймворк Next продемонстрировал лучшие показатели среди трех технологий. Next лучше React и Astro по среднему времени первой отрисовки и по времени выполнения сценария на сайте. Однако, по времени рендеринга страницы и загрузке страницы React значительно проигрывает Next и Astro, при этом последние имеют схожие показатели.

### Заключение

На основе проведенного исследования были получены данные по ключевым показателям производительности фреймворков и сформированы рекомендации применения того или иного решения в зависимости от контекста использования. Фреймворк Next показал лучшие результаты по большинству параметров производительности в сравнении с React и Astro. Данное решение обладает высокой скоростью отрисовки страницы и имеет оптимальную производительность. Фреймворки React и Astro показывают схожие результаты, однако Astro выигрывает React по времени рендеринга и загрузке страницы. С учетом описанных выше особенностей, формируется выбор фреймворка, на котором будет разработан проект. Если для будущего веб-приложения необходима высокая производительность, то лучшим выбором будет Next. В зависимости от других факторов, React и Astro также могут быть подходящими вариантами.

### Список литературы

1. Потовиченко М. А., Шатилов Ю. Ю. Разработка клиентской части одностраничного web-приложения с использованием библиотек React // Научное обозрение. Технические науки. – 2020. – №1. – С. 39–43.
2. Евдокимов А. О. Анализ и сравнение клиентского рендеринга (CSR) и серверного рендеринга (SSR) в современных веб-приложениях // Студенческая наука: созидая будущее. – 2023. – С. 143–148.
3. Давыдова М. П. Интерактивное web-приложение с использованием библиотеки React JS // Студент: наука, профессия, жизнь. – 2023. – С. 203–206.

4. Сукиасян В. М., Придиус Е. С. Современные принципы и подходы к Frontend архитектуре веб-приложений // Наука, техника и образование. – 2019. – № 10 (63). – С. 54-57.
5. Бетеев К. Ю., Муратова Г. В. Концепция Virtual DOM в библиотеке React.JS // Инженерный вестник Дона. – 2022. – № 3 (87). – С. 170–180.
6. Арянов В.А. Особенности разработки пользовательских интерфейсов на React JS // Материалы XXV Научно-практической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов национального исследовательского Мордовского государственного университета. – 2022. – С. 271–275.
7. Скороходов И. С., Тихомирова А. Н. Исследование и сравнение современных реализаций Flux-архитектур разработки веб-приложений // Наука, техника и образование. – 2016. – № 6 (24). – С. 47–54.
8. Кожантаев Т.Р. Виды рендеринга в веб-программировании // Известия Ошского технологического университета. – 2022. – № 2. – С. 65–69.
9. Swiatkowski A., Scibior K. Comparative analysis of React, Next and Gatsby programming frameworks for creating SPA applications // Journal of Computer Sciences Institute. – 2022. – № 24. – pp. 224–227.

## References

1. Potovichenko M. A., Shatilov Yu. Yu. Development of the client part of a single-page web application using React libraries // Scientific Review. Technical sciences. 2020. – № 1. – pp. 39-43.
  2. Evdokimov A. O. Analysis and comparison of client rendering (CSR) and server rendering (SSR) in modern web applications // Student Science: creating the future. – 2023. – pp. 143-148.
  3. Davydova M. P. Interactive web application using the React JS library // Student: science, profession, life. – 2023. – pp. 203-206.
  4. Sukiasyan V. M., Pridius E. S. Modern principles and approaches to Frontend architecture of web applications // Science, technology and education. – 2019. – № 10 (63). – pp. 54-57.
  5. Beteev K. Yu., Muratova G. V. The concept of Virtual DOM in the library React.JS // Engineering Bulletin of the Don. – 2022. – № 3 (87). – pp. 170-180.
  6. Aryanov V.A. Features of the development of user interfaces on React JS // Materials of the XXV Scientific and Practical Conference of Young scientists, postgraduates and students of the National Research Mordovian State University. – 2022. – pp. 271-275.
  7. Skorokhodov I. S., Tikhomirova A. N. Research and comparison of modern implementations of Flux architectures for web application development // Science, technology and education. – 2016. – № 6 (24). – pp. 47-54.
  8. Kozhentaev T.R. Types of rendering in web programming // Izvestiya Osh Technological University. – 2022. – № 2. – pp. 65-69.
  9. Swiatkowski A., Scibior K. Comparative analysis of React, Next and Gatsby programming frameworks for creating SPA applications // Journal of Computer Sciences Institute. – 2022. – № 24. – pp. 224–227.
-



Международный журнал информационных технологий и  
энергоэффективности

Сайт журнала:

<http://www.openaccessscience.ru/index.php/ijcse/>



УДК 004.8

## АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЛИЧНОСТНЫХ ТЕСТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ

**Абдыкадыр Д.А.**

*КАЗАХСТАНСКО-БРИТАНСКИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ, Алматы, Казахстан,  
(50000, Казахстан, Алматы, ул. Толе би, 59), e-mail: ddauren788@gmail.com*

Никто из нас не остается равнодушным к проблемам высшего образования, поскольку образование является частью экономики и жизни. Одним из важнейших аспектов является подготовка инженерных кадров, которая играет жизненно важную роль в успехе различных отраслей промышленности. Однако этот процесс сложен и включает в себя множество заинтересованных сторон с различными интересами и приоритетами. Кроме того, становится очевидной растущая значимость разрыва между высшим образованием и промышленностью, поскольку многие выпускники с трудом находят работу в выбранной ими области. В данной исследовательской работе предлагается комплексная модель реформирования системы высшего образования, учитывающая интересы и мотивации всех заинтересованных сторон, включая образовательные учреждения, промышленность и правительство. Предлагаемое решение предполагает внедрение интегрированной с работой программы обучения и внедрение схемы финансового стимулирования для научно-исследовательских отделов внутри компаний. Этот инклюзивный подход направлен на поддержку успешного трудоустройства выпускников инженерных специальностей, стимулирование роста промышленности и содействие общему развитию экономики.

Ключевые слова: Индикатор типа Майерса-Бриггса, Модели машинного обучения, Инструментарий естественного языка.

## AUTOMATING THE PREDICTION OF PERSONALITY TESTS USING MACHINE LEARNING TECHNIQUES

**Abdikadir D.A.**

*KAZAKH-BRITISH TECHNICAL UNIVERSITY, Almaty, Kazakhstan (50000, Kazakhstan, Almaty,  
st. Tole bi 59), e-mail: ddauren788@gmail.com*

Research in the field of personality prediction is aimed at identifying and understanding subtle differences in behavioral tendencies, cognitive patterns and emotional manifestations of a person. This study uses a wide range of methods, such as psychological assessments, behavior observations, and advanced computer modeling, to predict and identify a person's unique personality traits. Using the Natural Language Toolkit (NLTK), text data from messages is processed and converted into numerical characteristics suitable for analysis using machine learning. The main purpose of this study is to determine the type of personality of a person based on the Myers-Briggs type indicator (MBTI) based on his posts on social networks, using a combination of psychological knowledge and computational methods. This approach involves analyzing and categorizing the distinctive features and characteristics corresponding to each MBTI category. By integrating machine learning models with text analysis, this work aims to improve understanding of human behavior and promote the application of machine learning in predictive personality assessment. The findings are expected to make significant contributions to the fields of psychology and personalized applications driven by artificial intelligence, contributing to a deeper understanding of individual behaviors and personality profiling.

Keywords: Myers-Briggs Type Indicator, Machine Learning Models, Natural Language Toolkit.



## Introduction

The study of personality in psychology spans decades, revealing complex layers that define human behavior, thought processes, and emotional responses. Traditionally, personality assessments have been rooted in observational and introspective methodologies, with the aim of understanding these intricate human characteristics. As the digital age ushers in advanced analytical tools, there is a significant shift towards employing more objective and precise methods to evaluate and predict personality traits. This research leverages such technological advancements to explore the potential of Natural Language Processing (NLP) and Machine Learning (ML) in personality prediction, specifically through the analysis of textual data from social media posts. The concept of personality is a cornerstone of psychological study and is often perceived as a somewhat elusive construct due to its broad and integrative nature. Personality psychology focuses on identifying patterns in behavior and thought that are consistent over time and across situations. Among the models developed to quantify and categorize these patterns, the Myers-Briggs Type Indicator (MBTI) and the Big Five personality traits are the most prevalent. The Big Five model outlines five broad dimensions of personality: extraversion, agreeableness, conscientiousness, neuroticism, and openness to experience. Each dimension represents a spectrum where individual differences lie between two extremes. Unlike the Big Five, the MBTI categorizes personality into 16 distinct types based on four dichotomous dimensions: Introversion/Extraversion, Sensing/Intuition, Thinking/Feeling, and Judging/Perceiving. These types help in understanding how individuals differ in their energy direction, information processing, decision making, and lifestyle preferences. Figure1 depicts the 16 distinct personality types that result from a combination of the four dimensions.

<b>ISFJ</b>	<b>ISFP</b>	<b>INTJ</b>	<b>ISTJ</b>
<b>INFJ</b>	<b>INTP</b>	<b>INFP</b>	<b>ESFJ</b>
<b>ESFP</b>	<b>ESTP</b>	<b>ISTP</b>	<b>ESTJ</b>
<b>ENFP</b>	<b>ENFJ</b>	<b>ENTJ</b>	<b>ENTP</b>

Figure 1 - Types of Personality[6]

With the proliferation of digital communication, textual data has become a valuable source for psychological profiling. The use of NLP to process and analyze this data offers a unique opportunity to observe and predict personality traits based on linguistic cues. This approach not only supports the traditional psychological assessments but also introduces a level of precision and scalability previously unattainable. Machine learning models further enhance this methodology by learning from large datasets, potentially identifying subtle patterns that human analysts might overlook. In this study, we apply various machine learning techniques to process and analyze text data, aiming to

predict the MBTI personality types from individual social media posts. Figure 2 depicts the cognitive processes of each type. The background color of each kind indicates its major function, while the text color indicates its supporting duty. This predictive modeling could serve as a supplementary tool in psychological assessments, providing insights into an individual's personality based on their digital footprints. While NLP and machine learning provide innovative approaches to personality prediction, their integration with established psychological models like the MBTI and the Big Five is crucial. This synthesis allows for a more holistic understanding of an individual's personality, combining traditional psychological theories with modern computational methods. The integration not only helps validate the predictions made by machine learning models but also enriches the interpretations of personality traits with a data-driven approach.

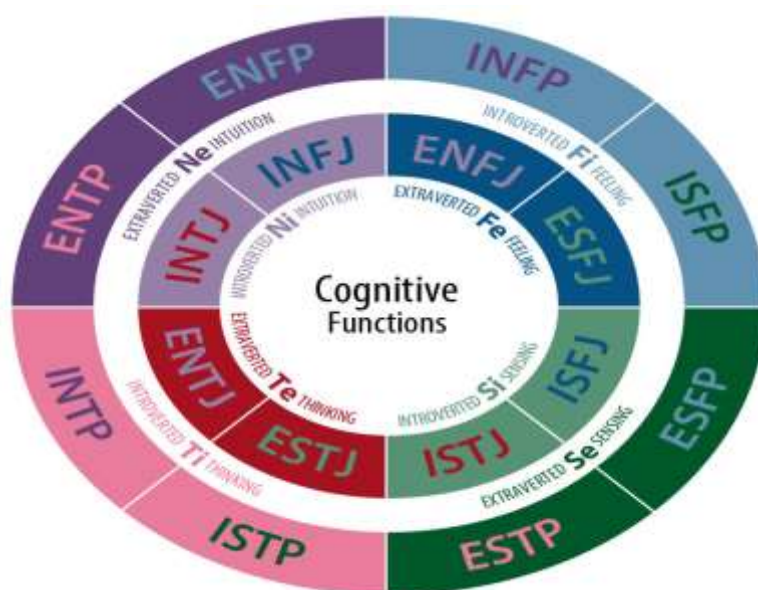


Figure 2 – Cognitive Functions of each Personality Type[7]

The implications of accurate personality prediction are vast, ranging from enhancing personal development and improving mental health treatment to refining educational methods and optimizing workplace environments. By advancing our ability to predict personality traits through technological means, this research contributes to a deeper understanding of human behavior, offering practical tools for psychology professionals and the general public alike. This study seeks to bridge the gap between traditional psychological assessments and modern computational techniques, exploring the effectiveness of NLP and machine learning in enhancing the accuracy and applicability of personality prediction. Through detailed analysis and comprehensive modeling, the research aims to provide valuable insights into the dynamic interplay of personality, language, and technology.

### Literature review

The paper[1] provides for the first time a comparison of Big Five and MBTI from a personality computing perspective. To do so we use two multilingual Twitter datasets, one annotated with Big Five classes and one with MBTI classes. For the first time, we provide evidence that algorithms trained on MBTI could have better performances than trained on the Big Five, although the Big Five is much more informative and has great variability in performance depending also on the algorithm used for the prediction.

So far we have focused on predicting the personality of the email writer based on one single email. The accuracy could be improved if we can make inference based on multiple email messages. Given  $n$  email messages, we could let SVM estimate the probability distribution of the personality trait values and then use those probabilities to vote for the final prediction. In the Gmail set, we randomly selected  $n$  messages for each user and predict this user's personality based on the voted probabilities of those messages. The accuracy is more than 81% if we see more than 10 messages, and nearly 85% if we see more than 35 messages.[2]

The review of existing literature emphasizes the growing importance of social media as a resource for research, particularly noting the widespread use of Twitter and similar platforms, especially in Indonesia. It points out the potential of data mining and its application in areas such as named entity recognition, automatic summarization, sentiment analysis, and clustering of user profiles. This research, however, is dedicated to exploring personality prediction through social media data—a topic that has not been as extensively explored within the realm of Indonesian language studies. A significant contribution of this study is the creation of a new dataset from Indonesian Twitter, consisting of 250 users whose personality traits have been assessed according to the Five Factor Model by professional psychologists.[3]

The literature review for this study could focus on the development of personality prediction techniques using social media and online behavior analysis. The review should explore a variety of machine learning algorithms and personality models previously employed, with special attention given to the use of Artificial Neural Networks as a method for predicting personality. It should also highlight the significance of popular social media platforms like Facebook, which provide a rich data source for understanding online behaviors and personality traits due to their large user base and extensive social interactions. Additionally, the review might consider the applicability of various personality models, such as MBTI, DISC, and the Big Five, in this predictive framework. Key contributions of the study may include investigating the connections between user behavior and personality on social networks. The application of KNN, Artificial Neural Networks, and Logistic Regression should be presented as innovative methods to enhance personality prediction through machine learning techniques.[4]

If the intention behind an ML-based personality scale is to serve as a real measure of a latent variable, akin to those used in classical or probabilistic test theory, where the primary difference is that indicators are derived from digital devices rather than traditional questionnaires, then it is imperative that these ML-based scales undergo evaluation using criteria similar to those applied to conventional scales, such as construct validation. This ensures that the scales maintain a rigorous standard of reliability and validity in measuring psychological constructs. However, the utility of ML-based scales extends beyond replicating traditional measures. In applications where the scale is directly trained on specific outcomes, such as job fit, the traditional psychometric properties may become less critical. In these scenarios, it is not necessary for the ML-based scale to predict a questionnaire score directly. Thus, the emphasis should shift from adhering strictly to classical psychometric standards to exploring the practical utility and predictive capacity of the scale in real-world contexts. Consequently, the psychometric properties relevant to traditional scales assume a different level of importance in ML-based scales. The literature review should explore these nuances, emphasizing how the validation and application of ML-based psychometric scales require a tailored approach that aligns with their intended use and the nature of the data they process. This discussion

will provide a comprehensive overview of how ML innovations can augment or transform traditional approaches in psychological measurement.[5]

## Methods and Materials

### a. Data Collection and Cleaning

The study utilized a dataset of 8,675 observations available on Kaggle[9], where each observation included the user's MBTI personality type and their last 50 posts. Data cleaning involved the removal of punctuation, emoticons, and other non-textual elements using Python's regular expression capabilities within the processing libraries to prepare the data for analysis. The posts were cleansed of URLs, special characters, and MBTI type mentions to avoid model bias. Figure 3 displays two columns with the name's kind and posts. Figure 4 displays what posts actually are.

Out[13]:

	type	posts
0	INFJ	'http://www.youtube.com/watch?v=qsXHcwe3krw   ...
1	ENTP	'I'm finding the lack of me in these posts ver...
2	INTP	'Good one ____ https://www.youtube.com/wat...
3	INTJ	'Dear INTP, I enjoyed our conversation the o...
4	ENTJ	'You're fired.   That's another silly misconce...

Figure 3 – Data in Dataset

In [10]:

df.posts[0]

Out[10]:

```
""http://www.youtube.com/watch?v=qsXHcwe3krw|||http://41.media.tumblr.com/tumblr_lfouy83PMA
1qa7roo01_500.jpg|||enfp and intj moments https://www.youtube.com/watch?v=iz7IE1g4XM4 spo
rtscenter not top ten plays https://www.youtube.com/watch?v=uCdfezeleted pranks|||What has
been the most life-changing experience in your life?|||http://www.youtube.com/watch?v=vXZeY
waRDw8 http://www.youtube.com/watch?v=u8eja5DP3E On repeat for most of today.|||May the
Perf. Experience immerse you.|||The last thing my INFJ friend posted on his facebook before
committing suicide the next day. Rest in peace- http://vimeo.com/22842286|||Hello ENFJ!
Sorry to hear of your distress. It's only natural for a relationship to not be perfection a
ll the time in every moment of existence. Try to figure the hard times as times of growth,
as...|||84389 84390 http://wallpaperpassion.com/upload/23780/friendship-boy-and-girl-wall
paper.jpg http://assets.dornob.com/wp-content/uploads/2018/04/round-home-design.jpg ...|||
Welcome and stuff,|||http://playeressence.com/wp-content/uploads/2013/00/RED-red-the-pokemo
n-master-32560474-450-338.jpg Game. Set. Match.|||Prozac, wellbutrin, at least thirty minu
```

Figure 4 – Posts

### b. Data Visualization

Data visualization techniques were employed to analyze the distribution of personality types within the dataset. Using Python's Matplotlib and Seaborn libraries, we visualized the frequency of each MBTI personality type, uncovering significant imbalances across different types. This helped identify the need for balanced sampling strategies in later stages of the methodology. Figure 5 and Figure 6 illustrate the distribution of each MBTI personality type within the dataset. It is evident that there is a significant imbalance among the different classifications, with certain personality types represented more heavily than others.

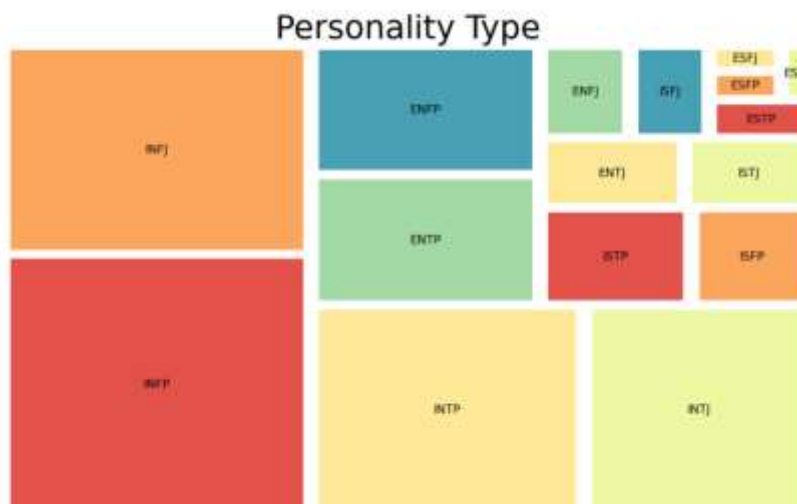


Figure 5 – Distribution of Posts for each Personality Type

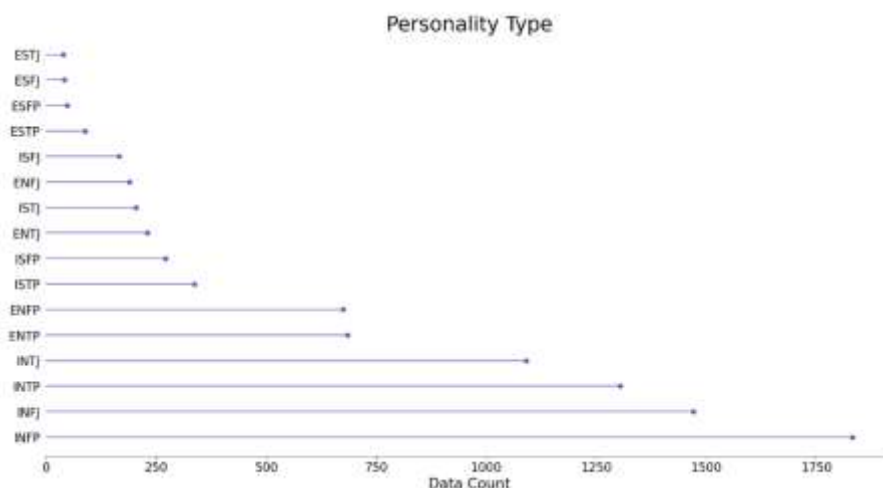


Figure 6 – Stem Plot of distribution

### c. Preprocessing and Feature extraction

The preprocessing stage was tailored to address the non-uniform distribution of MBTI types, which was skewed by the nature of the online forum from which the data was sourced. We converted all text to lowercase to maintain consistency and removed URLs, non-English phrases, common stopwords (via the NLTK library), and any direct mentions of MBTI types (like INFP, ESTJ) to prevent the model from learning specific labels instead of linguistic patterns. Further, lemmatization was applied to the text to reduce words to their base or dictionary form, enhancing the textual data's relevance for the subsequent analysis.

Features were extracted from the processed text using TF-IDF vectorization, which helps in understanding the importance of a word in relation to a document set. This step transformed the text data into a format suitable for machine learning modeling.

### d. Classification Models

Multiple machine learning models were employed to classify the MBTI types:

- K-Nearest Neighbors (KNN): Used for its simplicity and effectiveness in classification tasks.

- Logistic Regression and Support Vector Machines (SVM): Provided robust options for binary classification problems.
- Decision Trees and Random Forests: Offered a method to handle non-linear data effectively.
- Multinomial Naive Bayes: Utilized for its efficiency in handling large text datasets.

Each model was trained on the dataset and evaluated using accuracy and F1-score metrics to determine its performance. The models were also assessed using classification reports to understand precision, recall, and F1-scores for each personality type, ensuring that our models were not biased towards the more frequent classes. The models were rigorously tested against a holdout set from the original dataset to ensure they generalize well on unseen data. We used standard metrics like accuracy, precision, recall, and the F1-score for evaluation. Special attention was given to the F1-score due to the class imbalance observed in the dataset. To handle the imbalance in the dataset, techniques such as stratified sampling and potentially synthetic data generation methods like SMOTE (Synthetic Minority Over-sampling Technique) were considered to ensure the models do not favor the majority class. The methodology combined rigorous data preparation, sophisticated feature extraction, and diverse modeling techniques. Each step was designed to build a robust system capable of accurately classifying MBTI personality types based on text data, with careful consideration given to the nuances and challenges posed by the imbalanced dataset.

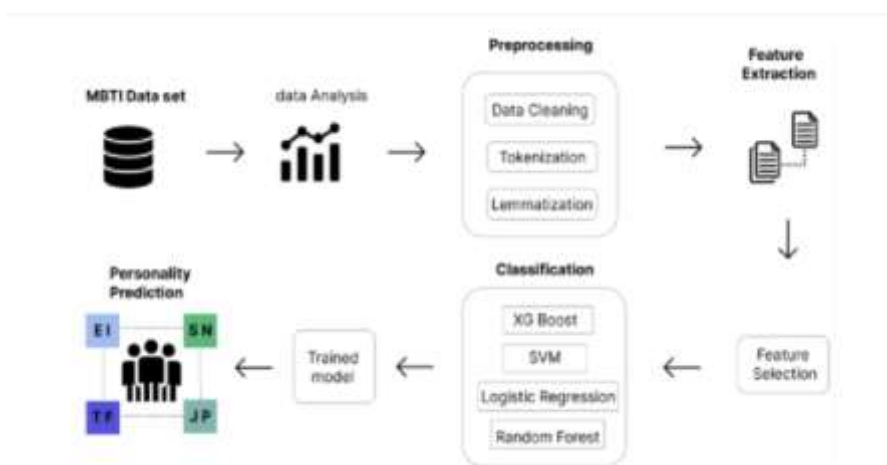


Figure 7 – System Architecture of MBTI - BASED PERSONALITY PREDICTION[8]

### Discussion of results

In the performance visualization section, we explored the accuracy of various machine learning models across different data splits and sampling techniques. We used both 80/20 and 70/30 train-test splits to evaluate the performance of models such as K-Nearest Neighbors (KNN), Logistic Regression, Linear Support Vector Classifier (Linear SVC), Multinomial Naive Bayes, Decision Tree Classifier, and Random Forest Classifier. This section includes several bar graphs comparing the test accuracy and F1 scores of different machine learning models across various data splitting and sampling techniques. Logistic Regression and Linear Support Vector Classifiers consistently perform better than others, such as k-Nearest Neighbors (kNN) and Decision Tree Classifier, regardless of the split ratio. Since Models are performing poorly in Figure 8, we will try to incorporate few preprocessing techniques.



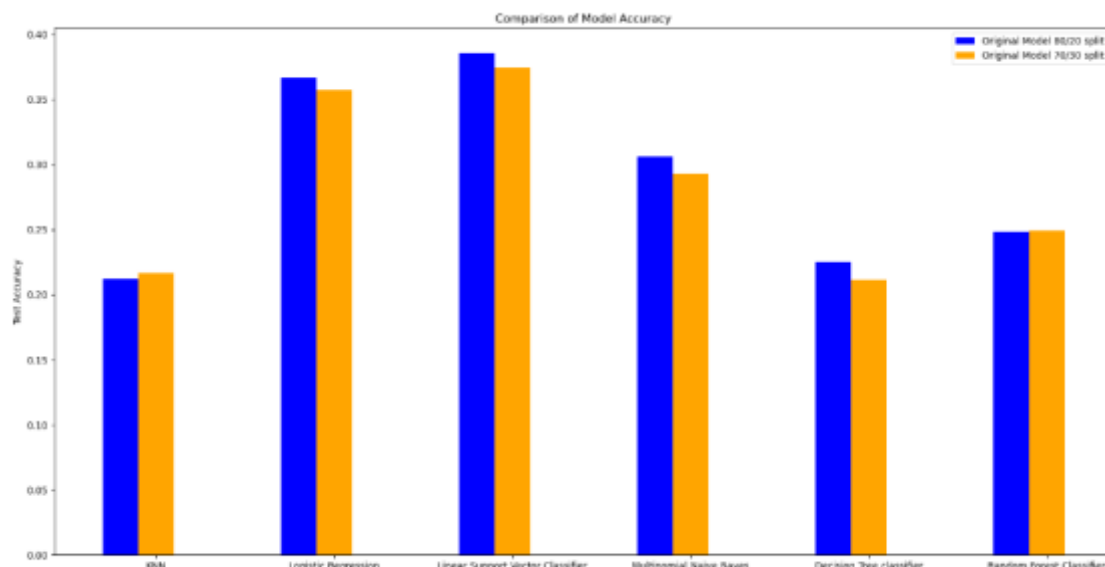


Figure 8 – Comparison of model accuracy

Due to the inherent imbalance in the dataset, undersampling and oversampling techniques were applied to ensure a more balanced representation of each class. We will only take 600 samples of each type. The 80/20 split with undersampling and oversampling yielded more consistent and higher accuracy scores across most models, compared to the original splits. Specifically, undersampling the 80/20 split improved the performance of the Linear Support Vector Classifier and Logistic Regression significantly. The result after undersampling is shown in Figure 9 and for oversampling is shown in Figure 10. F1 scores were compared to assess the models' performance, considering both precision and recall. The bar graphs indicate that F1 scores followed a similar trend to accuracy scores, with Logistic Regression and Linear Support Vector Classifier achieving higher scores. Undersampling and oversampling generally improved F1 scores, particularly for models that struggled with the imbalanced dataset initially. The results are shown in Figures 11, 12.

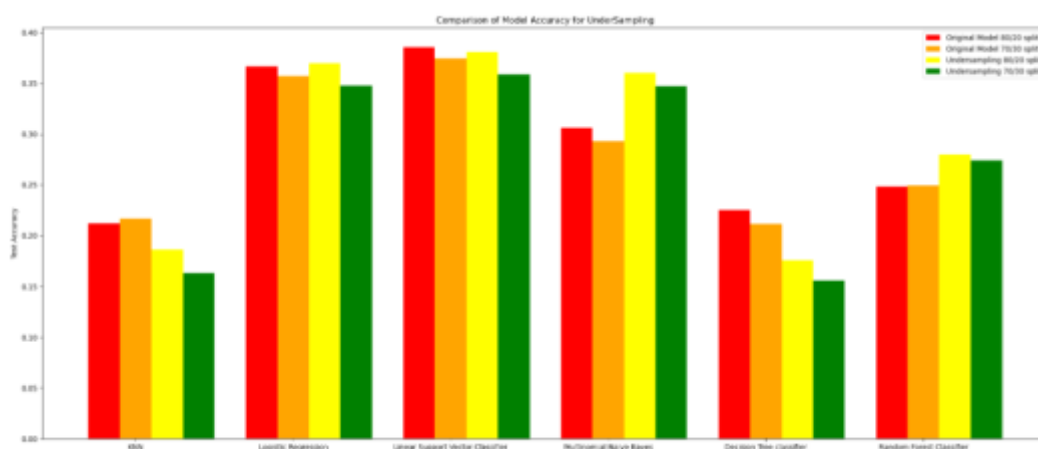


Figure 9 – Comparison of model accuracy for UnderSampling

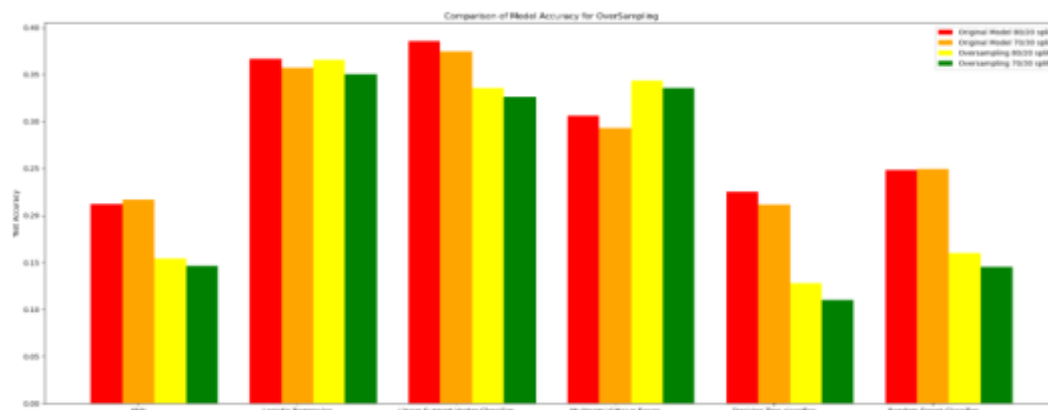


Figure 10 – Comparison of model accuracy for OverSampling

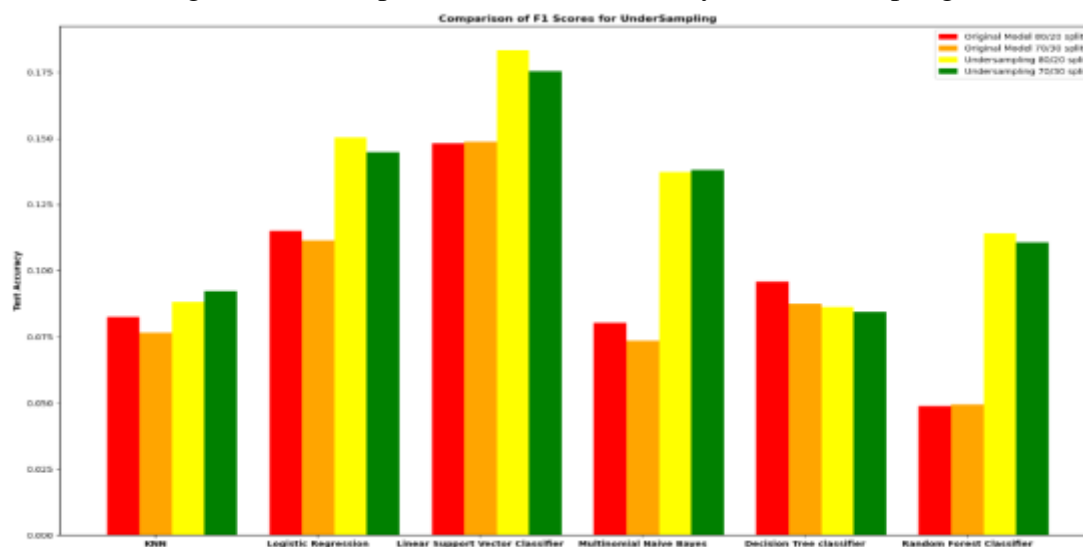


Figure 11 – Comparison of F1 for UnderSampling



Figure 12 – Comparison of F1 for OverSampling

The analysis involved comparing different models to determine the best performing one for predicting MBTI personality types. The models evaluated included:

- kNN
- Logistic Regression
- Linear Support Vector Classifier
- Multinomial Naive Bayes
- Decision Tree Classifier
- Random Forest Classifier

The final comparison of accuracy scores across different models and techniques (original splits, undersampling, oversampling, SMOTE) is depicted in the graphs. Key findings include. Logistic Regression emerged as the best performing model, especially with the oversampling 80/20 split. Linear Support Vector Classifiers also showed strong performance across different sampling techniques. Both undersampling and oversampling significantly improved model performance by addressing the class imbalance issue. SMOTE provided an additional boost in performance, making it a valuable technique for handling imbalanced datasets. The analysis demonstrates that handling imbalanced data is crucial for achieving better model performance. Logistic Regression and Linear Support Vector Classifier were the top performers, with SMOTE and oversampling 80/20 split yielding the highest accuracy and F1 scores. Despite the improvements, the overall performance indicates that further refinement and possibly more advanced techniques might be required for optimal predictions. By reducing the number of classes from 16 to 4, the analysis aims to improve the model's ability to generalize and provide more accurate predictions. This approach will be explored in future work to enhance the classification of MBTI personality types.

## Conclusion

In this study, we aimed to predict Myers-Briggs Type Indicator (MBTI) personality types from text data using various machine learning models. A significant challenge we encountered was the imbalance in our dataset, where some personality types were overrepresented compared to others. This imbalance necessitated the use of specialized techniques to ensure fair representation of all classes and to enhance model performance. To address the imbalance, we employed undersampling, oversampling, and Synthetic Minority Over-sampling Technique (SMOTE). These techniques were applied to different data splits (80/20 and 70/30) to evaluate their impact on model performance. Initially, we analyzed the dataset and observed that certain MBTI types had substantially more data than others. This imbalance posed a risk of bias in model training, leading to poor generalization. To mitigate this risk, we applied undersampling, which reduces the number of samples in the overrepresented classes to match the number of samples in the underrepresented classes. While this technique helped balance the dataset, it also resulted in a reduction in the overall dataset size, potentially causing the loss of valuable information. Next, we implemented oversampling, which increases the number of samples in the underrepresented classes by duplicating existing samples. This approach significantly improved model performance, especially for Logistic Regression and Linear Support Vector Classifier. The models trained on oversampled data exhibited higher accuracy and F1 scores compared to the original dataset. We then applied SMOTE, which generates synthetic samples for the minority classes, effectively balancing the dataset without duplicating existing samples. SMOTE proved to be the most effective technique, particularly with the 80/20 data split. It produced substantial performance gains, enhancing the accuracy and F1 scores of most models. Logistic

Regression and Linear Support Vector Classifier, when combined with SMOTE, consistently achieved the best performance across all metrics. Our evaluation of different models, including k-Nearest Neighbors (kNN), Logistic Regression, Linear Support Vector Classifier, Multinomial Naive Bayes, Decision Tree Classifier, and Random Forest Classifier, revealed that Logistic Regression and Linear Support Vector Classifier were the top performers. These models demonstrated higher accuracy and F1 scores, especially when trained on data balanced using SMOTE. The comparison of models across various data splits and sampling techniques indicated that the 80/20 split generally yielded better results than the 70/30 split. This outcome suggests that having a larger training set relative to the test set contributes to better model generalization. Despite the improvements achieved through these techniques, we noticed that handling imbalanced data remained a challenge. Consequently, we explored the possibility of reducing the number of MBTI classes from 16 to 4 broader categories (Analysts, Diplomats, Sentinels, and Explorers). This approach aimed to simplify the classification task and enhance the model's ability to generalize. In conclusion, our study underscores the importance of addressing data imbalance in machine learning applications. Through systematic application of undersampling, oversampling, and SMOTE, we demonstrated significant improvements in model performance for predicting MBTI personality types. Logistic Regression and Linear Support Vector Classifier emerged as the most effective models, particularly when combined with advanced sampling techniques. Future research will focus on further refining these techniques, exploring advanced feature engineering, and applying the insights gained to other domains with similar challenges. By addressing these areas, we aim to develop more accurate, fair, and scalable machine learning models for personality prediction and beyond. This work highlights the need for continuous refinement and adaptation of models to handle imbalanced data effectively, ensuring they remain relevant and effective in real-world applications.

### Список литературы

1. Фабио Челли, Бруно Лепри, “Лучше ли Big Five, чем MBTI? Задача по вычислению личности с использованием данных Twitter”, С.103-106, 2018
2. Цзяньцян Шэнь, Оливер Брдичка и Хуан Лю, “Понимание авторов электронных писем: прогнозирование личности по сообщениям электронной почты”, том 13, С. 10-12, 4 декабря 2013 года.
3. Онг В., Рахманто А. Д., Виллием У., Джереми Н. Х., Сухартоно Д. и Андангсари Э. В. (2021). Моделирование личности индонезийских пользователей Twitter с помощью XGBoost на основе пятифакторной модели. Международный журнал интеллектуальной инженерии и систем, 14(2).
4. Карнакар М., Рахман Х. У., Сантош А. Дж. и Сирисала Н. (2021, октябрь). Система прогнозирования личности кандидата с использованием машинного обучения. В 2021 году состоится 2-я глобальная конференция по технологическому прогрессу (GCAT) (стр. 1-4). IEEE.
5. European Journal of Personality, Eur. J. Pers. 34: 613-631 (2020), “Исследование и оценка личности в эпоху машинного обучения”, том 19
6. [https://kayfreesm.pics/product\\_details/20605103.html](https://kayfreesm.pics/product_details/20605103.html)
7. [https://www.researchgate.net/figure/The-cognitive-functions-of-each-personality-type-15\\_fig3\\_339935842](https://www.researchgate.net/figure/The-cognitive-functions-of-each-personality-type-15_fig3_339935842)

8. Международный журнал междисциплинарных исследований EPRA (IJMR) - Рецензируемый журнал Объем: 9| Выпуск: 10| Октябрь 2023 г.|| DOI журнала: 10.36713/epra2013||Импакт-фактор SJIF за 2023 год: 8.224||Значение ISI: 1.188
9. <https://www.kaggle.com/datasets/datasnaek/mbti-type/data>

## References

1. Fabio Celli, Bruno Lepri, “Is Big Five better than MBTI? A personality computing challenge using Twitter data”, pp.103-106, 2018
  2. Jianqiang Shen, Oliver Brdiczka, and Juan Liu, “Understanding Email Writers: Personality Prediction from Email Messages” vol. 13, pp. 10-12, 4 2013.
  3. Ong, V., Rahmanto, A. D., Williem, W., Jeremy, N. H., Suhartono, D., & Andangsari, E. W. (2021). Personality Modelling of Indonesian Twitter Users with XGBoost Based on the Five Factor Model. International Journal of Intelligent Engineering & Systems, 14(2).
  4. Karnakar, M., Rahman, H. U., Santhosh, A. J., & Sirisala, N. (2021, October). Applicant personality prediction system using machine learning. In 2021 2nd global conference for advancement in technology (GCAT) (pp. 1-4). IEEE.
  5. European Journal of Personality, Eur. J. Pers. 34: 613–631 (2020), “Personality Research and Assessment in the Era of Machine Learning” vol. 19
  6. [https://kayfreem.pics/product\\_details/20605103.html](https://kayfreem.pics/product_details/20605103.html)
  7. [https://www.researchgate.net/figure/The-cognitive-functions-of-each-personality-type-15\\_fig3\\_339935842](https://www.researchgate.net/figure/The-cognitive-functions-of-each-personality-type-15_fig3_339935842)
  8. EPRA International Journal of Multidisciplinary Research (IJMR) - Peer Reviewed Journal Volume: 9| Issue: 10| October 2023|| Journal DOI: 10.36713/epra2013 || SJIF Impact Factor 2023: 8.224 || ISI Value: 1.188
  9. <https://www.kaggle.com/datasets/datasnaek/mbti-type/data>.
-



Международный журнал информационных технологий и  
энергоэффективности

Сайт журнала:

<http://www.openaccessscience.ru/index.php/ijcse/>



УДК 004.056

## ЭКОСИСТЕМА В МИРЕ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

<sup>1</sup>Висутнов С.С., Ахrameева К.А.

ФГБОУ ВО САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ ИМ. ПРОФЕССОРА М. А. БОНЧ-БРУЕВИЧА, Санкт-Петербург,  
Россия (193232, г. Санкт-Петербург, просп. Большевиков, 22, корп. Ж), e-mail:  
<sup>1</sup>solekvis@yandex.ru

В данной статье предоставлен результат изучения экосистем информационной безопасности, а также произведён анализ возможных проблем и их решений при развёртывании экосистемы.

Ключевые слова: Экосистема ИБ, защита, информация, информационная безопасность, технологии.

## ECOSYSTEM IN THE WORLD OF INFORMATION SECURITY

<sup>1</sup>Visutnov S.S., Akhrameeva K.A.

ST. PETERSBURG STATE UNIVERSITY OF TELECOMMUNICATIONS NAMED AFTER  
PROFESSOR M. A. BONCH-BRUEVICH, St. Petersburg, Russia (193232, St. Petersburg, ave.  
Bolshevikov, 22, bldg.J), e-mail: <sup>1</sup>solekvis@yandex.ru

This article provides the result of studying information security ecosystems, as well as an analysis of possible problems and their solutions when deploying the ecosystem.

Keywords: Information security ecosystem, protection, information, information security, technology.

### Введение

В современном мире, где информационные технологии пронизывают все сферы жизни, информационная безопасность (ИБ) становится все более актуальной. В связи с данным фактом не мало важным стало обеспечение собственной экосистемы ИБ для компаний, что обеспечит надёжную защиту от киберугроз. Однако при создании собственной экосистемы специалисты могут столкнуться с трудностями.

В данной статье подробно рассмотрены следующие вопросы:

1. Что такое экосистема ИБ и какие компоненты она включает?
2. Какие проблемы могут возникнуть при реализации экосистемы, а также методы их решения?

### Экосистема информационной безопасности

Экосистема ИБ – это комплексная система, объединяющая различные компоненты для защиты информации. Она выходит за рамки традиционных подходов к ИБ, которые фокусируются на отдельных инструментах или технологиях.[1]

Компонентами экосистемы ИБ являются: программные и аппаратные решения: антивирусы, межсетевые экраны, системы обнаружения вторжений (IDS), системы



предотвращения вторжений (IPS), системы управления информационными активами (IAM), системы DLP (Data Loss Prevention) и т.д.[6]; услуги: аудит ИБ, пентесты, реагирование на инциденты ИБ, обучение специалистов по ИБ, консалтинг по ИБ и т.д.; специалисты: аналитики ИБ, инженеры по безопасности, системные администраторы, специалисты по реагированию на инциденты ИБ, аудиторы ИБ и т.д.; процессы: разработка политик ИБ, управление рисками ИБ, реагирование на инциденты ИБ, управление уязвимостями, управление идентификацией и доступом (IAM) и т.д.; данные: об угрозах ИБ, об активах ИБ, о конфигурации ИТ-инфраструктуры, о журналах безопасности и т.д.

Все компоненты экосистемы ИБ взаимосвязаны и работают сообща. Это обеспечивает более высокую степень защиты информации, чем при использовании отдельных инструментов или технологий.[1]

Преимуществами экосистемы ИБ выступают следующие характеристики: повышение уровня защиты информации: за счет объединения различных инструментов и экспертизы; снижение расходов на ИБ: за счет оптимизации процессов и использования ресурсов экосистемы; повышение эффективности ИБ: за счет автоматизации процессов и совместной работы специалистов; улучшение управляемости ИБ: за счет единой системы управления и контроля.

Экосистема ИБ может быть реализована различными способами, в зависимости от потребности организации, такими как:

1. Локальная: все компоненты экосистемы размещаются на собственной инфраструктуре организации.
2. Облачная: все или часть компонентов экосистемы размещаются в облаке.
3. Гибридная: часть компонентов экосистемы размещается на собственной инфраструктуре, а часть – в облаке.

Для всех видов экосистем можно выделить действия, которые выполняются независимо от типа реализации. К таким действиям относятся: планирование, которое включает в себя определение целей и задач экосистемы; оценка текущего состояния информационной безопасности в организации; разработка архитектуры экосистемы, выбор компонентов экосистемы, составление плана внедрения экосистемы информационной безопасности [1]; эксплуатация экосистемы ИБ, которая включает в себя: мониторинг работы экосистемы, обновление компонентов, реагирование на инциденты в экосистеме информационной безопасности.

Локальная экосистема ИБ – это комплексная система защиты информации, все компоненты которой размещаются на собственной инфраструктуре организации.

Этапы реализации локальной экосистемы ИБ:

1. Планирование.
2. Внедрение:
  - Установка и настройка компонентов экосистемы ИБ.
  - Интеграция компонентов экосистемы ИБ друг с другом.
  - Обучение специалистов работе с экосистемой ИБ.
3. Эксплуатация.

Локальную экосистему ИБ целесообразно использовать в следующих случаях: организация имеет высокие требования к конфиденциальности информации, организация не доверяет облачным сервисам, организация имеет собственную развитую ИТ-инфраструктуру.

Преимуществами локальной экосистемы ИБ является: высокий уровень контроля над всеми компонентами экосистемы, повышенная безопасность за счет отсутствия внешних зависимостей, а также соответствие требованиям регуляторов.

Недостатками локальной экосистемы ИБ является: высокие расходы на внедрение и поддержку, сложность управления и обслуживания, необходимость иметь высококвалифицированный персонал.

Выбор варианта реализации экосистемы ИБ зависит от размера и специфики организации, бюджет на ИБ, а также от требований к уровню защиты информации.

Облачная экосистема ИБ – это комплексная система защиты информации, все компоненты которой размещаются в облаке.[1]

Этапы реализации облачной экосистемы ИБ:

1. Планирование облачной экосистемы включает в себя: определение целей и задач экосистемы ИБ, оценка текущего состояния ИБ в организации, выбор провайдера облачных сервисов, разработка архитектуры экосистемы ИБ, выбор компонентов экосистемы ИБ, а также составление плана внедрения экосистемы ИБ.

2. Внедрение состоит из: регистрация в облачном сервисе, развертывание компонентов экосистемы ИБ, настройка компонентов экосистемы ИБ, интеграция компонентов экосистемы ИБ друг с другом, обучение специалистов работе с экосистемой ИБ.

3. Эксплуатация:

Облачную экосистему ИБ целесообразно использовать в следующих случаях: организация имеет ограниченный бюджет, организация не имеет собственной ИТ-инфраструктуры, организации нужна масштабируемая и гибкая система ИБ.

Преимущества облачной экосистемы ИБ: низкие расходы на внедрение и поддержку, простота управления и обслуживания, масштабируемость и гибкость, доступ к новейшим технологиям ИБ.

Недостатки облачной экосистемы ИБ: низкий уровень контроля над компонентами экосистемы, риски безопасности, связанные с использованием облачных сервисов, необходимость иметь стабильное интернет-соединение.

### **Реализация гибридной экосистемы ИБ.**

Гибридная экосистема ИБ – это комплексная система защиты информации, которая сочетает в себе компоненты, размещенные как на собственной инфраструктуре организации, так и в облаке [1].

Этапы реализации гибридной экосистемы ИБ:

1. Планирование включает в себя: определение целей и задач экосистемы ИБ, оценка текущего состояния ИБ в организации, выбор провайдера облачных сервисов, разработка архитектуры экосистемы ИБ, выбор компонентов экосистемы ИБ, определение разделения ответственности между организацией и провайдером облачных сервисов, составление плана внедрения экосистемы ИБ.

2. Внедрение, состоящее из: развертывание компонентов экосистемы ИБ на собственной инфраструктуре, регистрация в облачном сервисе, развертывание компонентов экосистемы ИБ в облаке, настройка компонентов экосистемы ИБ, интеграция компонентов экосистемы ИБ друг с другом, обучение специалистов работе с экосистемой ИБ.

### 3. Эксплуатация.

Гибридную экосистему ИБ целесообразно использовать в следующих случаях: организации нужна максимальная гибкость и масштабируемость системы ИБ, организация имеет конфиденциальную информацию, которую необходимо хранить на собственной инфраструктуре, организация хочет использовать преимущества облачных сервисов для некоторых компонентов системы ИБ.

Преимуществами гибридной экосистемы ИБ является: гибкость и масштабируемость, соответствие требованиям регуляторов, снижение расходов, доступ к новейшим технологиям ИБ.

Недостатками гибридной экосистемы ИБ выступает: сложность управления и обслуживания, риски безопасности, связанные с использованием облачных сервисов, необходимость иметь стабильное интернет-соединение.

Важно отметить, что гибридная экосистема ИБ может быть наиболее подходящим вариантом для организаций, которые хотят получить преимущества как локальной, так и облачной экосистемы ИБ. Однако гибридная экосистема ИБ может быть более сложной в управлении и обслуживании, чем локальная или облачная экосистема ИБ.[2]

#### **Выбор метода реализации системы ИБ.**

Факторами, которые влияют на выбор метода реализации системы ИБ, являются: бюджет, требования к безопасности, масштабируемость, ИТ-инфраструктура, а также техническая экспертиза.

Таким образом, локальный метод необходим в случае, если соблюдены следующие условия: наличие большого бюджета, который можно вложить в установку системы, существует потребность в обеспечении максимального уровня контроля доступа, нет потребности в настройке экосистемы для большого количества пользователей и устройств, на предприятии имеется развитая ИТ-инфраструктура.

Реализация облачного метода осуществляется в случае, если у предприятия есть следующие потребности и возможности: небольшой бюджет компании, нет необходимости в полном контроле доступа, существует потребность в обеспечении экосистемы для большого количества пользователей и устройств, в компании нет или ИТ-инфраструктура слабо развита, в компании нет специалистов с глубокими техническими знаниями в данной области.

Гибридный метод реализации, применим в случае, если предприятие имеет следующие потребности и возможности: необходимо сбалансировать безопасность и бюджет, имеет конфиденциальную информацию, которую необходимо хранить на собственной инфраструктуре, есть необходимость использовать преимущества облачных сервисов для некоторых компонентов системы ИБ, нуждается в максимальной гибкости и масштабируемости системы ИБ.

Проблемы, с которыми возможно столкнуться при реализации экосистемы ИБ, а также методы их решения

Реализация экосистемы — это глобальный и трудоёмкий процесс, в ходе которого руководство компании сталкивается с различными проблемами.

Разрозненные компоненты системы ИБ могут не работать вместе эффективно. Решением будет использование унифицированной платформы ИБ или стандартов интеграции, что

позволит эффективнее распоряжаться рабочими ресурсами. На данный момент в сфере информационной безопасности не существует единого стандарта интеграции экосистемы ИБ, однако наиболее распространёнными из существующих являются [5]:

- STIX/TAXII: набор стандартов для обмена информацией о киберугрозах.
- MITRE ATT&CK: база знаний тактик, техник и процедур (TTP), используемых злоумышленниками.
- OpenIOC: формат для обмена индикаторами компрометации (IOC).
- Sigma: язык для описания правил корреляции событий безопасности.
- MISP: платформа для совместной работы и обмена информацией о киберугрозах.

При отсутствии единого представления о состоянии безопасности всей экосистемы ИБ используют инструменты мониторинга и управления событиями безопасности (SIEM).

Ручное управление компонентами системы ИБ, как правило, процесс трудоемкий и подвержен ошибкам. Использование инструментов автоматизации для управления конфигурацией, обновлениями и реагированием на инциденты, позволяет минимизировать затраты времени сотрудников на управление компонентами системы ИБ.

Поскольку персонал компании может не обладать знаниями и навыками, необходимыми для управления и эксплуатации экосистемы ИБ необходимо обеспечить обучение и повышение квалификации для сотрудников, которые работают с экосистемой.

Экосистема ИБ может не соответствовать внутренним или внешним требованиям к безопасности, в связи с быстрым развитием методов атак на подобные системы, а также уязвима к кибератакам. Поскольку экосистема ИБ обязана соответствовать внутренним или внешним требованиям к безопасности, а также быть неуязвимой к кибератакам – необходимо регулярно проводить аудиты и проверки безопасности, эксплуатировать продукты, которые обеспечивают осведомлённость о текущем состоянии безопасности системы ИБ, в том числе использующие передовые методы защиты, такие как многофакторная аутентификация, шифрование и анализ поведения пользователей и др.[3]

Дорогостоящая реализация и поддержка экосистемы ИБ, может вызывать затруднения в реализации экосистемы. Для избежания такого случая необходимо чёткое определение приоритетов и оптимизации затрат на информационную безопасность.

Бизнес-среда и ландшафт угроз постоянно меняются, что может потребовать внесения изменений в экосистему ИБ. Чтобы предотвратить подобное необходимо обеспечить гибкость и адаптивность экосистемы.[4]

На этапе организации экосистемы, необходимо провести юридическую экспертизу и оценку соответствия экосистемы с существующими юридическими нормами, это делается для избежания юридических проблем после реализации экосистемы.

### **Заключение**

В данной статье разобраны основные понятия о том, что из себя представляет экосистема информационной безопасности, а также рассмотрены основные проблемы, возникающие при работе с ней. В результате проведённой работы установлено, что экосистемы информационной безопасности являются неотъемлемой частью каждой компании. Наличие экосистемы позволяет избежать многих атак, проводимые на данные фирмы, быстро определить источник утечки данных, а также упростить управление безопасностью компании. В силу того, что на данный момент нет единых норм интеграции экосистем информационной

безопасности на предприятие, методы реализации экосистем выбираются в результате анализа ИТ-инфраструктуры, бюджета, а также наличия высококвалифицированных специалистов в компании, и на усмотрение компании вендора и заказчика.

### Список литературы

1. Архитектура информационной безопасности внутри экосистемы. Джабриалова Л.Х., Кутаев А.Х., Гаджиев Н.К.
2. Волкогонов В. Н., Гельфанд А. М., Деревянко В. С. Актуальность автоматизированных систем управления //Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании (АПИНО 2019). – 2019. – С. 262-266.
3. Волкогонов В. Н., Гельфанд А. М., Карамова М. Р. Обеспечение безопасности персональных данных при их обработке в информационных системах персональных данных //Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании (АПИНО 2019). – 2019. – С. 266-270.
4. Виткова Л. А. и др. Конвергенция информационных технологий для повышения эффективности управления информационным пространством Санкт-Петербурга //Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании (АПИНО 2018). – 2018. – С. 140-142.
5. Штеренберг С. И., Москальчук А. И., Красов А. В. Разработка сценариев безопасности для создания уязвимых виртуальных машин и изучения методов тестирования на проникновения–Информационные технологии и телекоммуникации, 2021 //Т. – 2021. – Т. 9. – С. 1-2.
6. Штеренберг, С. И. Компьютерные вирусы / С. И. Штеренберг, А. В. Красов, А. Ю. Цветков. Том Часть 1. – Санкт-Петербург : Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича, 2015. – 63 с. – EDN CMMEML.

### References

1. Information security architecture within the ecosystem. Dzhabrialova L.H., Kutaev A.H., Gadzhiev N.K.
2. Volkogonov V. N., Gelfand A.M., Derevyanko V. S. Relevance of automated control systems //Actual problems of infotelecommunications in science and education (APINO 2019). – 2019. – pp. 262-266.
3. Volkogonov V. N., Gelfand A.M., Karamova M. R. Ensuring the security of personal data during their processing in personal data information systems //Actual problems of infotelecommunications in science and education (APINO 2019). – 2019. – pp. 266-270.
4. Vitkova L. A. et al. Convergence of information technologies to improve the efficiency of information space management in St. Petersburg //Actual problems of infotelecommunications in science and education (APINO 2018). – 2018. – pp. 140-142.
5. Shterenberg S. I., Moskalchuk A. I., Krasov A.V. Development of security scenarios for creating vulnerable virtual machines and studying penetration testing methods–Information technologies and telecommunications, 2021 //Т. – 2021. – Т. 9. – pp. 1-2.

6. Shterenberg, S. I. Computer viruses / S. I. Shterenberg, A.V. Krasov, A. Y. Tsvetkov. Volume Part 1. – St. Petersburg : St. Petersburg State University of Telecommunications named after Prof. M.A. Bonch-Bruевич, 2015. – 63 p. – EDN CMMEML.
-





Международный журнал информационных технологий и  
энергоэффективности

Сайт журнала:

<http://www.openaccessscience.ru/index.php/ijcse/>



УДК 004.04

## РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ БЛОКЧЕЙН МЕХАНИЗМА ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ОПОВЕЩЕНИЯ О ДТП С ЦЕЛЬЮ ОКАЗАНИЯ ПЕРВОЙ ПОМОЩИ ПОСТРАДАВШИМ

<sup>1</sup>Сеналов Ф., Амангельдин М.

*КАЗАХСТАНСКО-БРИТАНСКИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ, Алматы, Казахстан, (50000, Казахстан, Алматы, ул. Толе би, 59), e-mail: <sup>1</sup>f\_senalov@kbtu.kz*

Автоматизация оповещения о дорожно-транспортных происшествиях (ДТП) и предоставление первой помощи пострадавшим – важные аспекты общественной безопасности. В данной статье представлена разработка модели блокчейн механизма, который направлен на улучшение эффективности и скорости реагирования на ДТП с целью оказания первой помощи пострадавшим. Модель предлагает инновационный подход к автоматизации процесса оповещения о ДТП, основанный на использовании технологии блокчейн. Система предусматривает создание децентрализованной сети, в которой информация о происшествиях фиксируется и доступна для мгновенного обмена между участниками. Это позволяет сократить время реагирования служб экстренной помощи и улучшить координацию действий на месте происшествия. В рамках статьи рассматриваются технические аспекты разработки модели, включая структуру блокчейн сети, протоколы обмена данных и механизмы безопасности. Обсуждаются потенциальные выгоды и препятствия внедрения предложенной системы. Кроме того, данная модель блокчейн механизма способствует улучшению взаимодействия между участниками системы, включая медицинский персонал, службы экстренной помощи и органы правопорядка, что повышает координацию и эффективность помощи на месте ДТП. Исследование также обращает внимание на важность обучения и информирования общественности о возможностях и преимуществах использования таких технологий в повседневной жизни для повышения безопасности дорожного движения.

Ключевые слова: Блокчейн, Умная дорога, Умное здравоохранение, Умные контракты, Цифровизация, Транзакция.

## DEVELOPMENT OF A BLOCKCHAIN MECHANISM MODEL FOR AUTOMATING TRAFFIC ACCIDENT NOTIFICATION FOR THE PURPOSE OF PROVIDING FIRST AID TO VICTIMS

<sup>1</sup>Senalov F., Amangeldin M.

*KAZAKH-BRITISH TECHNICAL UNIVERSITY, Almaty, Kazakhstan (50000, Kazakhstan, Almaty, st. Tole bi 59), e-mail: <sup>1</sup>f\_senalov@kbtu.kz*

Automating road traffic accident (RTA) notification and providing first aid to victims are important aspects of public safety. This paper presents the development of a blockchain mechanism model that aims to improve the efficiency and speed of road accident response to provide first aid to victims. The model proposes an innovative approach to automate the process of traffic accident notification based on the use of blockchain technology. The system involves the creation of a decentralized network where incident information is captured and available for instant sharing among participants. This reduces the response time of emergency services and improves coordination at the scene of an accident. The paper discusses the technical aspects of model development, including the blockchain network structure, data exchange protocols and security mechanisms. The potential benefits and obstacles of implementing the proposed system are discussed. In addition, this blockchain model facilitates better communication between system participants, including medical personnel, emergency services, and law enforcement, which enhances the coordination and efficiency of assistance at the accident scene. The study also

---

**draws attention to the importance of educating and informing the public about the possibilities and benefits of using such technologies in everyday life to improve road safety.**

---

Keywords: Blockchain, Smart Road, Smart Health, Smart Contracts, Digitalization, Transaction.

---

## **Introduction**

Globally, road traffic accidents pose a significant public health challenge, leading to substantial casualties and economic burdens [1]. With millions of lives lost or injured each year, there's an urgent need for innovative solutions to streamline emergency response processes and reduce the impact of these incidents. In the context of the Republic of Kazakhstan, which has witnessed a concerning increase in road accidents, the integration of advanced technologies holds promise for improving accident notification and first aid delivery [2].

Blockchain technology has emerged as a transformative tool in various sectors, including Smart City initiatives aimed at enhancing urban infrastructure and services. In recent years, research and development efforts have explored the potential of blockchain in improving traffic management, emergency response, and public safety [3]. By leveraging blockchain's decentralized ledger and secure data exchange capabilities, cities can optimize resource allocation, enhance transparency, and facilitate seamless collaboration among stakeholders [4].

Several countries have embarked on initiatives to integrate blockchain technology into their urban infrastructure, with promising results. For example, Singapore has implemented blockchain-based solutions for traffic management, enabling real-time data sharing between vehicles and infrastructure [5]. Similarly, Dubai has launched the Dubai Blockchain Strategy, aimed at enhancing government efficiency and transparency across various sectors, including transportation and emergency services [6].

While specific initiatives related to blockchain integration in traffic accident notification systems may be limited in Kazakhstan, the country has shown interest in adopting blockchain technology in various sectors. For instance, the Astana International Financial Center (AIFC) has established a Blockchain and Cryptocurrency Center to promote blockchain adoption and innovation in finance, logistics, and other industries [7]. Additionally, Kazakhstan's Digital Kazakhstan Strategy emphasizes the importance of emerging technologies like blockchain in driving digital transformation and innovation across the country's economy [8].

Recent studies have ventured into pioneering solutions harnessing blockchain technology to fortify traffic accident notification systems, with the overarching goal of augmenting the efficiency of emergency response operations and bolstering the delivery of critical first aid. Let's journey through some noteworthy examples:

First up is the brainchild of Farooq et al., aptly christened DrunkChain: a Blockchain-Based IoT System engineered to combat drunk driving-related traffic accidents. The researchers recognized the sobering reality that drunk driving is a significant contributor to fatal accidents. Existing methods for assessing driver alcohol consumption, however, are fraught with vulnerabilities. The proposed solution intertwines the Internet of Things (IoT) with blockchain technology, presenting a device-based dashboard that vigilantly monitors the driver's blood alcohol concentration (BAC) and vehicle stability. Integrated blockchain transactions seamlessly transmit data directly to a centralized police account, circumventing the need for a central server and ensuring the immutable integrity of data [9].

Next on our radar is the Blockchain-Based Framework for Traffic Event Verification in Smart Vehicles, meticulously outlined by Pujol. Though not explicitly tailored for accidents, this framework

serves as a beacon illuminating the potential of blockchain in fortifying road safety. The system, anchored in blockchain transactions, stands as a staunch guardian of event data integrity, furnishing a reliable record of incidents [10].

Hamid et al. make a compelling case with their Accident Alert System Using Blockchain Technology, a paradigm-shifting endeavor championing privacy preservation and non-repudiation. This system swiftly furnishes crucial information to emergency responders, leveraging the potent fusion of blockchain and an incentive mechanism to foster enhanced communication and coordination in accident scenarios [11].

Hamza et al. present an intriguing divergence with their AI-Enabled Accident Detection and Alert System, ingeniously employing IoT and deep learning to discern car accidents through smartphone-based sensors. While not directly reliant on blockchain, this endeavor underscores the pivotal role of IoT sensors in the realm of accident detection [12].

Rounding off our exploration is the visionary proposition by proponents advocating for the Integration of IoT and Blockchain for Ensuring Road Safety. As the landscape of intelligent transportation systems continues to evolve, the fusion of IoT and blockchain emerges as a formidable ally in fortifying accident reporting and response mechanisms [13].

In essence, these groundbreaking initiatives underscore the transformative potential of blockchain technology in redefining traffic accident notification systems, propelling emergency responses towards unprecedented efficiency and reliability. As researchers continue to chart new frontiers, the horizon brims with promise, heralding an era where road safety stands as an unwavering beacon of progress and innovation.

The integration of blockchain technology in traffic accident notification systems holds significant potential for the Republic of Kazakhstan. With the country experiencing a rise in road accidents and fatalities, leveraging advanced technologies like blockchain could enhance the efficiency and effectiveness of emergency response efforts [4]. By automating accident reporting, improving data accuracy, and enabling real-time communication between stakeholders, blockchain-based solutions could help reduce response times and save lives.

In conclusion, the integration of blockchain technology in traffic accident notification systems represents a promising approach to enhancing emergency response processes in the Republic of Kazakhstan and other regions globally. By leveraging blockchain's decentralized architecture and secure data exchange capabilities, cities can improve the accuracy, speed, and coordination of accident reporting and first aid delivery efforts. Continued research and collaboration are essential to further explore the potential applications of blockchain in improving public safety and urban resilience.

## **Methods and materials**

### *Blockchain technology*

Blockchain (BC) is a decentralized digital ledger that provides a secure and transparent record of transactions. It is a distributed database that maintains an ever-growing list of records, called blocks, that are linked and secured using cryptography.

Smart contracts are self-executing contracts with the terms of the agreement directly written into code. They run on blockchain platforms like Ethereum and automatically execute actions when predefined conditions are met. Smart contracts enable trustless and automated transactions, reducing

the need for intermediaries and the risk of fraud. They have applications in various fields, including finance, supply chain, real estate, and more, where parties want to ensure trust and automate processes without relying on traditional intermediaries.[14]

Suppose a patient needs to share their medical history with different healthcare providers:

- *Blockchain*: The patient's electronic health records are stored on a blockchain, ensuring security and immutability.
- *Smart Contracts*: Smart contracts control access to these records. When a healthcare provider requests access, the smart contract verifies the request and, upon approval, grants temporary access to the specific records needed.
- *Data Sharing*: With the patient's consent, the healthcare provider can access the necessary medical data instantly and securely from the blockchain. Once the access time expires, the data is no longer accessible.

This example demonstrates how blockchain and smart contracts can improve the security and efficiency of managing electronic health records while ensuring patient privacy and control.

## 2.2 System design and architecture:

Using vision computing based technology, it can send real-time signals via server to the blockchain system. Whereas, server sends the proper arguments, blockchain mechanism procedure the data and link it to the smart contract that holds the tracked intel. Initially, vision computed mechanism fires the data through the blockchain, handling information on smart road smart-contract, keeping data to be emitted to third-party block - Medicinal center smart-contract. Thus, smart health smart-contract, by virtue of real-time responding event, perceive exact location of the accident by filtering passed event from local database. After resolving the incident, server sends request to smart road blockchain mechanism, instruct that car accident is resolved. Meantime, server using automatized device, help treat the injured people via blockchain system (see Figure 1).

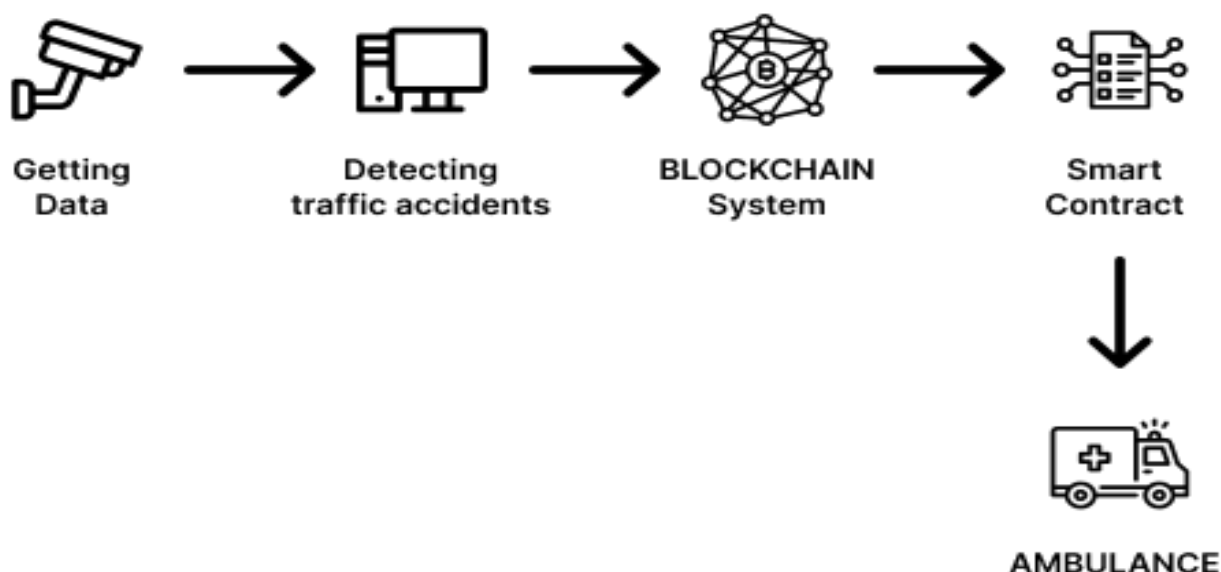


Figure 1 – System Architecture

In this scenario, the relationship between cameras and medical centers is streamlined to facilitate seamless emergency response. Here's how it works:

- *Smart Contracts for cameras*: Every camera along the smart road network is associated with a specific smart contract. These smart contracts continuously monitor their respective road sections for any events or incidents.
- *Medical Centers*: Medical centers, strategically located throughout the smart road system, are equipped with servers connected to the blockchain network. These centers act as hubs for coordinating emergency responses.
- *Emergency Event Detection*: When an emergency event occurs at an road sections, such as a traffic accident or a medical emergency reported by sensors or eyewitnesses, the corresponding smart contract is triggered.
- *Smart Contract Actions*: The smart contract at the road sections promptly executes predefined actions. In the case of a medical emergency, it initiates a call to the nearest medical center's server.
- *Server Response*: Upon receiving the emergency call from the smart contract, the medical center's server quickly assesses the situation and dispatches the appropriate response team, such as an ambulance or a rapid response unit, to the location of the road sections.
- *Efficiency and Rapid Response*: This automated process significantly reduces response times, optimizing resource allocation and ultimately saving lives. The load on individual servers is managed efficiently, ensuring that emergency calls do not overwhelm any single medical center.

To implement blockchain in projects, it is possible to use the Solidity language to write self-executing contracts for the Ethereum platform. Below is an example of a Solidity smart contract (see Figure 2).

```
1. function connectToMedpoint(  
2.     string calldata cameraLongitude,  
3.     string calldata cameraLatitude  
4. ) external {  
5.     this.setAccidentCount(Location(cameraLongitude, cameraLatitude), 1);  
6.     emit AccidentLocated(cameraLongitude, cameraLatitude);  
7. }  
8.  
9. function getAccidentCountByLocation(  
10.     Location calldata key  
11. ) external view returns (uint256) {  
12.     bytes32 hash = keccak256(abi.encode(key));  
13.     return accidentsByLocation[hash];  
14. }  
15.  
16. mapping(address => Location) public medpointsByCameras;  
17. mapping(address => Location) public cameras;  
18. mapping(bytes32 => uint256) public accidentsByLocation;  
19.  
20. event AccidentLocated(string longitude, string latitude);
```

Figure 2 – Code snippet

At the heart of this innovation lies the utilization of blockchain technology and smart contracts. Each intersection on the smart road network is represented by a dedicated smart contract. These smart contracts serve as autonomous entities capable of executing predefined actions when specific conditions are met. Additionally, each medical center is equipped with a server that connects to the blockchain network. This infrastructure helps distribute the load and ensures a rapid response to emergencies without overburdening individual servers.

### 2.3 Blockchain algorithms usage

Blockchain transactions between the two senders can be represented by the several formulas that show how functionality handles data transmission. Mainly, there are two of them: SHA-256 and Merkle Root.

SHA-256 (Secure Hash Algorithm 256-bit) is a cryptographic hash function that takes an input message of any length and produces a fixed-size output hash value of 256 bits. SHA-256 Algorithm often used by ciphering the block data, unique IDs in order to avoid revealing secret keys. Here's a simplified explanation of how SHA-256 works along with a high-level formula:

H - Block hash

SHA-256 - algorithm (secure hash algorithm)

$$H = \text{SHA256}(\text{SHA256}(\text{Version} + \text{Previous Block Hash} + \text{Merkle Root} + \text{Timestamp} + \text{Difficulty Target} + \text{Nonce}))$$

Formula 1.

*Version*: A version number that indicates the protocol version being used.

*Previous Block Hash*: The hash of the previous block's header, linking the current block to the previous one in the blockchain.

*Merkle Root*: The Merkle root hash of all the transactions included in the block.

*Timestamp*: A timestamp representing the time when the block was created.



*Difficulty Target*: A value that indicates the difficulty of the proof-of-work algorithm.

*Nonce*: A number that miners increment during the mining process to find a valid block hash.

*Where*:

- Message: The input message.
- Compression\_Function: The compression function applied to each block.
- Block\_N: Each 512-bit block of the padded message.
- Initial\_Hash\_Values: The initial hash values used for the first iteration.

*Merkle Root Calculation*:

Given a set of data blocks (D1, D2, ..., Dn), the Merkle root (R) can be calculated using a recursive process:

1. Begin with the data blocks as the leaves of the Merkle tree.
2. Compute the hash value (H) of each data block.
3. Pair adjacent hash values and concatenate them.
4. Hash each concatenated pair to produce a new hash value.
5. Repeat steps 3-4 until only one hash value remains - this is the Merkle root.

The formula can be represented recursively as follows:

$$\begin{aligned}
 D &= [d_1, d_2, d_3, \dots, d_n] \\
 M(D) &= H(D_i) \\
 M(D) &= H(M(DL)) + M(DR)) \\
 &\text{Formula 2.}
 \end{aligned}$$

*Where*:

- D1, D2, ..., Dn are the data blocks.
- H () represents the hash function.
- DL - data left (first data)
- DR - data right (end)

The Merkle root (R) obtained from this process is a compact representation of all the data blocks and serves as a single cryptographic proof of the integrity of the entire data set. This root is then stored in the blockchain header along with other metadata.

## Results and Discussion.

The transaction data in *Table 1* confirms the smooth execution of the blockchain mechanism model in automating traffic accident notification and enabling communication with the Medpoint system. Each transaction signifies a seamless interaction among various entities within the blockchain network, thereby enhancing the overall efficiency and efficacy of emergency response processes.

The "Success" status of each transaction indicates error-free execution of the connect-to-Medpoint method, validating the reliability and robustness of the implemented smart contracts. These

contracts play a pivotal role in orchestrating accident notification and facilitating timely provision of first aid, thereby ensuring prompt responses to road-related emergencies.

The inclusion of block numbers and timestamps in each transaction offers valuable insights into the temporal dynamics of transaction execution, shedding light on the real-time nature of accident notification and response coordination facilitated by the blockchain mechanism model.

The involvement of transaction parties, including sender and recipient addresses, illustrates the seamless communication and collaboration among different stakeholders, such as smart road infrastructure, medical centers, and emergency response teams. This interoperability is crucial for optimizing resource allocation and enhancing coordination during emergency situations.

Additionally, the minimal transaction fees associated with each transaction underscore the cost-effectiveness of employing blockchain technology for automating traffic accident notification. These nominal fees contribute to the sustainability and scalability of the blockchain mechanism model, ensuring its long-term viability in real-world scenarios.

In essence, the transaction data reaffirms the effectiveness and reliability of the developed blockchain mechanism model in enhancing emergency response processes and bolstering public safety on the roads. Through the utilization of blockchain technology and smart contracts, the model simplifies accident notification, minimizes response times, and ultimately saves lives during critical situations.

This discussion underscores the significance of continuous research and innovation in leveraging emerging technologies like blockchain to tackle pressing challenges in urban environments, particularly in the realm of road safety and emergency response.

This thorough analysis of transaction data highlights the transformative potential of blockchain technology in enhancing emergency response processes and bolstering public safety in urban settings.

## **Conclusion**

The integration of blockchain technology and smart contracts into smart road systems has the potential to revolutionize emergency response procedures. By establishing a network of smart contracts for intersections and well-connected medical centers, the system can rapidly and efficiently respond to accidents and medical emergencies, enhancing road safety and saving valuable time in critical situations. This innovative approach represents a significant step toward safer and more responsive smart road networks in modern urban environments.

In conclusion, the development of a blockchain mechanism model for automating traffic accident notification marks a significant stride towards enhancing public safety, particularly in the critical domain of providing timely first aid to accident victims. By leveraging blockchain technology, this model offers a streamlined approach to accident reporting and fosters seamless communication among key stakeholders, including medical professionals, emergency responders, and law enforcement agencies.

Overall, the findings from this study reaffirm the efficacy and reliability of the blockchain mechanism model in optimizing emergency response efforts and mitigating the adverse impacts of road accidents. Through the integration of blockchain technology and smart contracts, the model

not only reduces response times but also plays a pivotal role in saving lives during critical situations.

Looking ahead, it is imperative to continue exploring innovative solutions and advancing research in the realm of emerging technologies like blockchain. By fostering collaboration and promoting the adoption of such technologies, we can further bolster public safety measures and create more resilient communities, not only in Kazakhstan but also on a global scale.

*Table 1 – Transaction Data for Connect-to-Medpoint Method*

Transaction Hash	Status	Method	Blockno	DateTime (UTC)	From	To	Value	Txn Fee
0x351068f4ce441cebec5b72f38dfb6566350724d2fe4fc1efbeb3d1c8ec956436	Success	Connect To Medpoint	39989226	2024-05-02 20:19:22	0xdAcCe3cFd67E9f466469440534C1128db68e3F6A	0xfb5ed4f23fe5B07e9AEDD0f71319b330794bad5a	0 BNB	0.000177
0x877b2743eaea2e2b93ce05949e3b4298c6d93812350b0aa1e771824b931fcb87	Success	Connect To Medpoint	39989225	2024-05-02 20:19:19	0xdAcCe3cFd67E9f466469440534C1128db68e3F6A	0xfb5ed4f23fe5B07e9AEDD0f71319b330794bad5a	0 BNB	0.000177
0x8b81d5dfd680a087708809f26bbda67338b46b38eb3c729851fdf7dc5854e7fe	Success	Connect To Medpoint	39989223	2024-05-02 20:19:13	0xdAcCe3cFd67E9f466469440534C1128db68e3F6A	0xfb5ed4f23fe5B07e9AEDD0f71319b330794bad5a	0 BNB	0.0002625
0xd7eedd03ad9299919e33a828aa0619be8a60acff1e97da610f1eed4b60150dbb	Success	Connect To Medpoint	39989217	2024-05-02 20:18:55	0x14543dcFeAc3725c15991B87388A7d11E39AA12D	0xfb5ed4f23fe5B07e9AEDD0f71319b330794bad5a	0 BNB	0.0002625
0x81d549e76ffb929c0a87407e8812180303a4e2f611a49407485d64d1e9128a0a	Success	Connect To Medpoint	39989210	2024-05-02 20:18:34	0x9d02adec1dE5A14eeAebC4D6f5dF8107A641199	0xfb5ed4f23fe5B07e9AEDD0f71319b330794bad5a	0 BNB	0.000177
0xa81d2a076f7419cae049373daae9c8dc662599937fed5b2597ea2a623991b6fc	Success	Connect To Medpoint	39989205	2024-05-02 20:18:19	0x9d02adec1dE5A14eeAebC4D6f5dF8107A641199	0xfb5ed4f23fe5B07e9AEDD0f71319b330794bad5a	0 BNB	0.0002625
0x6e911c99f45856726e70966ed475185cbf8f936e9e64b553da63689319d01c25	Success	Connect To Medpoint	39989196	2024-05-02 20:17:52	0xbA4c09F68eAd6e81c9391A4A2480e83AC0218aC6	0xfb5ed4f23fe5B07e9AEDD0f71319b330794bad5a	0 BNB	0.000177
0x59a68d277a86c6d3af734cc8f859d435c7c4033e9bc5a3f9e32122472d8ba4ad	Success	Connect To Medpoint	39989175	2024-05-02 20:16:49	0xbA4c09F68eAd6e81c9391A4A2480e83AC0218aC6	0xfb5ed4f23fe5B07e9AEDD0f71319b330794bad5a	0 BNB	0.0002625
0x18ff79df2ce483b886f1128e88d7f2928c211a2de719cf67ad852391a79af2d4	Success	60806040	39989155	2024-05-02 20:15:49	0xbA4c09F68eAd6e81c9391A4A2480e83AC0218aC6	Contract Creation	0 BNB	0.00761416

## Список литературы

1. Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ). Глобальный доклад о состоянии безопасности дорожного движения 2018. <https://www.who.int/publications/i/item/9789241565684>
2. Информационное агентство EL.KZ 2022. [https://el.kz/en/road-accidents-increase-by-89-in-kazakhstan\\_53354](https://el.kz/en/road-accidents-increase-by-89-in-kazakhstan_53354)
3. Сван, М. (2015). Блокчейн: Проект новой экономики. О'Райли Медиа, Инк. DOI: [10.22215/timreview/1109] (<https://doi.org/10.22215/timreview/1109>)
4. Меттлер, М. (2016). Технология блокчейн в здравоохранении: Революция начинается здесь. В материалах 18-й Международной конференции IEEE по сетям, приложениям и услугам электронного здравоохранения (Healthcom) (с. 1-3). IEEE. DOI: [10.1109/HealthCom.2016.7749510] (<https://doi.org/10.1109/HealthCom.2016.7749510>)
5. Правительство Сингапура. (2020). Путь Сингапура к "умной нации". Retrieved from [https://www.clc.gov.sg/docs/default-source/urban-solutions/urbsol18pdf/9\\_essay\\_smartnationjourney.pdf](https://www.clc.gov.sg/docs/default-source/urban-solutions/urbsol18pdf/9_essay_smartnationjourney.pdf).
6. Умный Дубай. (2021). Дубайская стратегия блокчейна. Извлечено с <https://www.digitaldubai.ae/initiatives/blockchain>.
7. Международный финансовый центр Астаны (AIFC). (2020). Центр блокчейна и криптовалют. Извлечено с <https://aifc.kz/en/news/astana-international-financial-centre-and-blockchain-technology-company-bitfury-agreed-on-strategic-cooperation>.
8. Аскар Муқанов (2023). Основные показатели государственной программы "Цифровой Казахстан". DOI: [10.51582/interconf.19-20.04.2023.003] (<https://doi.org/10.51582/interconf.19-20.04.2023.003>)
9. Фарук, Х., Альтаф, А., Икбал, Ф., Кастанедо Галан, Х., Гавиланес Арай, Д., & Ашраф, И. (2023). DrunkChain: IoT-система на основе блокчейна для предотвращения дорожных происшествий, связанных с вождением в нетрезвом виде. *Sensors*, 23(12), 5388. DOI: [10.3390/s23125388] (<https://doi.org/10.3390/s23125388>)
10. Пуйоль, Ф. А., Мора, Х., Рамирес, Т., Рокамора, К., и Бедон, А. (2024). Основанная на блокчейне структура для верификации дорожных событий в умных автомобилях. *IEEE Access*. DOI: [10.1109/ACCESS.2024.3352738] (<https://doi.org/10.1109/ACCESS.2024.3352738>)
11. Hamid, M., et al. (2023). Система оповещения об авариях с использованием технологии блочной цепи. *Успехи AIP*, 2822(1), 020230. DOI: [10.1063/5.0173492] (<https://doi.org/10.1063/5.0173492>)
12. Hamza, M., et al. (2021). Система обнаружения и оповещения об авариях на основе ИИ с использованием IoT и глубокого обучения. *Устойчивость*, 14(13), 7701. DOI: [10.3390/su14137701] (<https://doi.org/10.3390/su14137701>)
13. Интеграция IoT и блокчейна для обеспечения безопасности дорожного движения: Обзор. *MDPI*. DOI: [10.3390/s20113296] (<https://doi.org/10.3390/s20113296>)
14. IBM (International Business Machines). <https://www.ibm.com/topics/blockchain>

## References

1. World Health Organization (WHO). Global Status Report on Road Safety 2018. <https://www.who.int/publications/i/item/9789241565684>
2. Information Agency EL.KZ 2022. [https://el.kz/en/road-accidents-increase-by-89-in-kazakhstan\\_53354](https://el.kz/en/road-accidents-increase-by-89-in-kazakhstan_53354)
3. Swan, M. (2015). Blockchain: Blueprint for a New Economy. O'Reilly Media, Inc. DOI: [10.22215/timreview/1109] (<https://doi.org/10.22215/timreview/1109>)
4. Mettler, M. (2016). Blockchain technology in healthcare: The revolution starts here. In Proceedings of the IEEE 18th International Conference on e-Health Networking, Applications and Services (Healthcom) (pp. 1-3). IEEE. DOI: [10.1109/HealthCom.2016.7749510] (<https://doi.org/10.1109/HealthCom.2016.7749510>)
5. Singapore Government. (2020). Singapore's Smart Nation journey. Retrieved from [https://www.clc.gov.sg/docs/default-source/urban-solutions/urbsol18pdf/9\\_essay\\_smartnationjourney.pdf](https://www.clc.gov.sg/docs/default-source/urban-solutions/urbsol18pdf/9_essay_smartnationjourney.pdf)
6. Smart Dubai. (2021). Dubai Blockchain Strategy. Retrieved from <https://www.digitaldubai.ae/initiatives/blockchain>
7. Astana International Financial Center (AIFC). (2020). Blockchain and Cryptocurrency Center. Retrieved from <https://aifc.kz/en/news/astana-international-financial-centre-and-blockchain-technology-company-bitfury-agreed-on-strategic-cooperation>
8. Askar Mukanov (2023). The main indicators of the state program «Digital Kazakhstan». DOI: [10.51582/interconf.19-20.04.2023.003] (<https://doi.org/10.51582/interconf.19-20.04.2023.003>)
9. Farooq, H., Altaf, A., Iqbal, F., Castanedo Galán, J., Gavilanes Aray, D., & Ashraf, I. (2023). DrunkChain: Blockchain-Based IoT System for Preventing Drunk Driving-Related Traffic Accidents. Sensors, 23(12), 5388. DOI: [10.3390/s23125388] (<https://doi.org/10.3390/s23125388>)
10. Pujol, F. A., Mora, H., Ramírez, T., Rocamora, C., & Bedón, A. (2024). Blockchain-Based Framework for Traffic Event Verification in Smart Vehicles. IEEE Access. DOI: [10.1109/ACCESS.2024.3352738] (<https://doi.org/10.1109/ACCESS.2024.3352738>)
11. Hamid, M., et al. (2023). Accident alert system using block chain technology. AIP Advances, 2822(1), 020230. DOI: [10.1063/5.0173492] (<https://doi.org/10.1063/5.0173492>)
12. Hamza, M., et al. (2021). AI Enabled Accident Detection and Alert System Using IoT and Deep Learning. Sustainability, 14(13), 7701. DOI: [10.3390/su14137701] (<https://doi.org/10.3390/su14137701>)
13. Integrating IoT and Blockchain for Ensuring Road Safety: An Overview. MDPI. DOI: [10.3390/s20113296] (<https://doi.org/10.3390/s20113296>)
14. IBM (International Business Machines). <https://www.ibm.com/topics/blockchain>



Международный журнал информационных технологий и  
энергоэффективности

Сайт журнала:

<http://www.openaccessscience.ru/index.php/ijcse/>



УДК 004.9

## РАЗРАБОТКА ETL-СИСТЕМЫ ДЛЯ ЗАГРУЗКИ В ХРАНИЛИЩЕ БАНКОВСКОЙ СТАТИСТИКИ

**Кодиркулов Ж.Р.**

*КАЗАХСТАНСКО-БРИТАНСКИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ, Алматы, Казахстан, (50000, Казахстан, Алматы, ул. Толе би, 59), e-mail: kadyrkulovzhenis000509@gmail.com*

С изобилием данных в банковском секторе может быть сложно извлечь полезную информацию из этих огромных баз данных. Процесс сбора, обработки и внесения этих данных в центральный репозиторий, также известный как извлечение, преобразование и загрузка (ETL), является одной из таких проблем. Эффективные техники ETL являются необходимыми для работы с финансовыми данными и обеспечения тщательного статистического анализа. В данной статье предоставляется глубокое обсуждение создания процедур ETL, разработанных специально для загрузки в хранилище банковской статистики. Дизайн и выполнение процессов извлечения данных, собирающих данные из различных финансовых систем, каждая из которых имеет свои собственные специфические форматы и структуры, являются первыми темами, которые мы рассматриваем. Следующим шагом является преобразование данных, где мы сосредотачиваемся на преобразовании различных типов данных в единый формат, учитывая проблемы с качеством данных, включая отсутствующие значения и несогласованности. Затем объясняются процедуры загрузки, включающие измененные данные в единое хранилище банковской статистики. Учитывая постоянно меняющуюся природу финансовых данных, наша методология также рассматривает управление как структурированными, так и неструктурированными данными. Кроме того, мы хотим улучшить эти процедуры ETL для увеличения производительности, сокращения времени загрузки и, в конечном итоге, обеспечения быстрого анализа данных. Будущая работа будет сосредотачиваться на добавлении алгоритмов машинного обучения в процедуры ETL, дальнейшей автоматизации мониторинга качества данных и изучении техник загрузки данных в реальном времени для обработки потоковых данных. Находки исследования подчеркивают важную роль, которую надежные процедуры ETL играют в эпоху больших данных, особенно в данных-насыщенных отраслях, таких как банковская.

Ключевые слова: ETL-системы, банковская статистика.

## DEVELOPMENT OF EXTRACT, TRANSFORM, LOAD (ETL) PROCESSES FOR UPLOADING TO THE BANKING STATISTICS WAREHOUSE

**Kodirkulov Z.R.**

*KAZAKH-BRITISH TECHNICAL UNIVERSITY, Almaty, Kazakhstan (50000, Kazakhstan, Almaty, st. Tole bi 59), e-mail: kadyrkulovzhenis000509@gmail.com*

AutoWith the abundance of data in the banking sector, it can be difficult to glean useful information from these enormous databases. The process of gathering, processing, and putting this data into a central repository, also known as extract, transform, and load (ETL), is one such problem. ETL techniques that are effective are essential for handling financial data and enabling thorough statistical analysis. In-depth discussion of the creation of ETL procedures designed particularly for uploading to a Banking Statistics Warehouse is provided in this article. The design and execution of data extraction processes, which collect data from a variety of financial systems, each with its own specific formats and structures, are the first topics we cover. The next step is data transformation, where we concentrate on transforming the various types of data into a uniform format while addressing concerns with data quality including missing values and inconsistencies. The loading procedures that include the altered data into a single Banking Statistics Warehouse are then explained. In recognition of the constantly changing nature of financial data, our methodology also addresses the management of both structured and unstructured data. Additionally, we want to improve these ETL procedures in order to increase productivity, decrease load times,

---

**and eventually enable rapid data analysis. Future work will concentrate on adding machine learning algorithms to the ETL procedures, automating data quality monitoring even further, and investigating real-time data loading techniques to handle streaming data. The study's findings highlight the crucial role that reliable ETL procedures play in the big data age, particularly in data-rich industries like banking.**

---

Keywords: ETL systems, banking statistics.

## I. INTRODUCTION

Data warehousing is built on extract, transform, and load (ETL) procedures, which are essential in fields that deal with massive volumes of data, like the banking industry [1]. The banking sector requires a strong data management strategy that includes efficient ETL methods due to its reliance on data for decision making, risk management, customer service, and operational efficiency. In order to load data into a data warehouse, ETL, as the name implies, includes taking the data from diverse sources, converting it into a uniform format, and then doing so [2]. Maintaining data quality and integrity calls for careful supervision of this complicated and complex process. Due to the rise in data volume and complexity brought on by the introduction of digital financial services, ETL procedures have evolved to incorporate real-time data loading methods for managing streaming data.

A key issue in the ETL process is data quality. Data warehouse value can be diminished by carelessness in maintaining data quality, which can lead to inaccurate insights and poor judgments [3]. As a result, efficient systems for checking data quality are essential to the ETL process. The goal of recent developments in this area is to improve these systems in order to handle the expanding data needs of the financial sector. Our research advances knowledge of ETL processes in the context of a warehouse for financial statistics. Our main areas of concentration are data extraction from various financial systems, data transformation to control data quality and consistency, and data loading to include processed data into the warehouse. Our study strategy is influenced by Liu et al.'s method [4], which calls for a thorough examination of the ETL procedure in a manner similar to how angles in a floor plan picture are identified for building a three-dimensional model. Our work makes a contribution to the emerging big data environment by creating an effective and reliable ETL method that can successfully manage data extraction, transformation, and loading in the banking industry [5]. In the long run, these developments will help the banking sector make better decisions and run operations more effectively. Within the complex banking industry environment, where financial transactions are conducted every second globally, the need for streamlined, robust, and reliable ETL procedures is paramount [6]. These processes facilitate the extraction of significant banking data, perform necessary transformations, and ultimately load the cleaned and structured data into the Banking Statistics Warehouse. This Warehouse acts as a storehouse of processed data, which can be retrieved and analyzed to generate insights that drive strategic decision-making processes [7].

The rapid emergence of big data and advanced analytics has further underscored the importance of ETL processes in banking. The growth in structured and unstructured data requires efficient ETL procedures that can handle diverse data forms and load them accurately into the Banking Statistics Warehouse [8]. As we continue to move towards a data-centric world, the speed of data processing and the quality of data extraction, transformation, and loading will play a critical role in shaping banking industry trends. This paper is dedicated to exploring the development of ETL processes for the Banking Statistics Warehouse, highlighting the importance of reliable ETL operations and examining future trends and challenges. The growing focus on digital transformation and the advent of technologies like machine learning, artificial intelligence, and blockchain in the banking sector further underlines the importance of ETL processes. Robust ETL procedures ensure



that data from these diverse digital streams is effectively captured, transformed, and stored in the Banking Statistics Warehouse. The future of ETL processes holds immense potential. The advent of real-time ETL, for instance, can significantly change the way banks handle their data. With real-time ETL, banking institutions can monitor transactions in near real-time, facilitating better fraud detection and risk management processes.

ETL procedures are not only pivotal in maintaining data integrity but also contribute to ensuring regulatory compliance. In an era of increased scrutiny and strict regulations in the banking sector, ETL processes play a crucial role in maintaining audit trails, thus helping banks comply with regulations. Moreover, the role of ETL in enabling predictive analytics cannot be overstated. By consolidating disparate data sources into a coherent structure, ETL processes provide the base for predictive modeling, which is instrumental in various banking activities such as credit scoring, risk management, and customer segmentation.

With the exponential growth of data in the banking industry, ETL processes' demand and complexity are expected to increase. This creates a pressing need for more sophisticated ETL tools and methods that can handle large volumes of data and complex transformations without compromising data integrity.

Furthermore, the intersection of ETL processes and emerging technologies like artificial intelligence is another exciting avenue. AI-enabled ETL tools can potentially automate many manual aspects of the ETL process, significantly reducing processing time and human error.

## II. METHODS

In tackling the ambitious task of designing and implementing our Extract, Transform, Load (ETL) processes, our core focus was on improving the capabilities and streamlining the operations of the Banking Statistics Warehouse.

Given the multifaceted nature of this task, we adopted a comprehensive, yet flexible approach, breaking it down into several unique yet tightly linked phases. Each phase formed an essential element of the overall architecture, contributing significantly to our broader project objective.

In order to maintain clarity and purposefulness throughout the project while also allowing for adjustments in response to unforeseen challenges, we embodied our plan in a diagram. The diagram, represented as Figure 1, offers a holistic view of our ETL process, providing a clear illustration of each phase and the transition points between them.

Acting as our project compass, this visualization ensured the consistent alignment of our team and stakeholders, clearly highlighting the project's progression and trajectory. This approach was instrumental in enhancing mutual understanding among team members and stakeholders, while ensuring that our project remained on course.

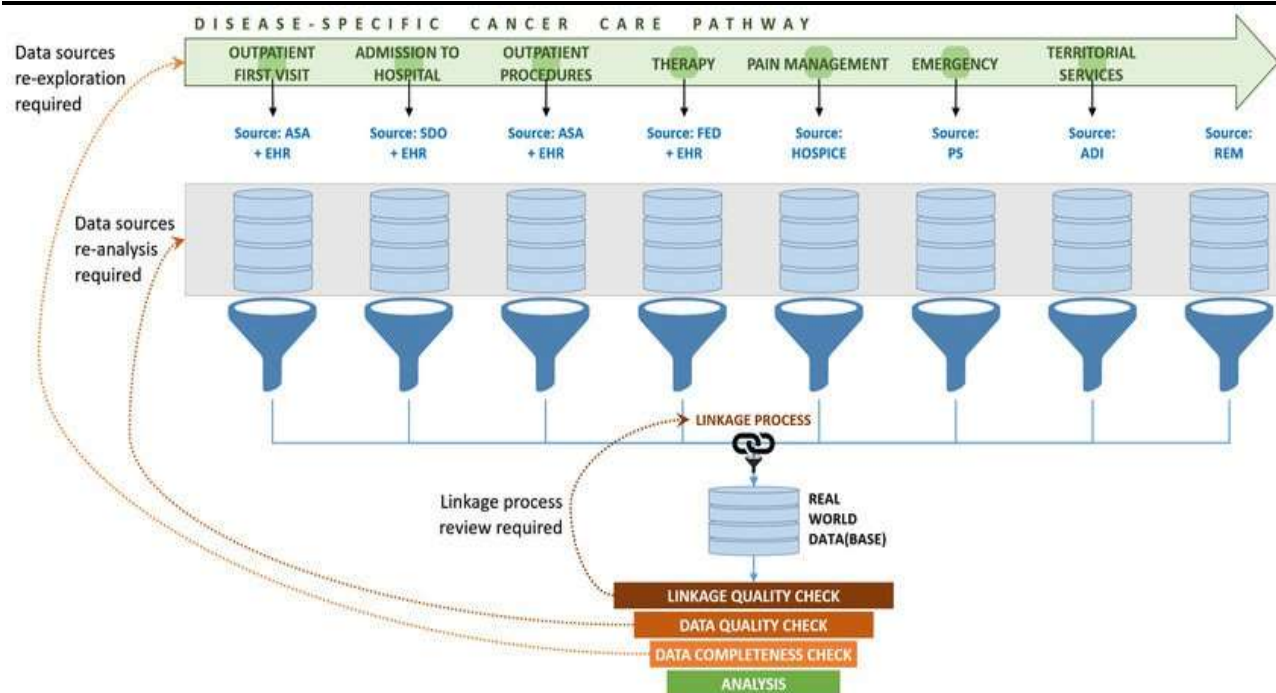


Figure 1 – Schematic representation of the ETL process

#### A. Data Extraction

As the foundational layer of our ETL process, data extraction demanded meticulous and deliberate action. At this stage, our task involved harvesting data from a diverse array of banking systems, each with its unique data configuration, structures, and formats. Undertaking such a herculean task required a profound understanding of the intricacies of these systems, which our team painstakingly developed over time. In the rapidly evolving banking landscape, data ingestion has to be dynamic. Consequently, we engineered our routines to be adaptive, facilitating both full extraction (for initial data loading) and incremental extraction (for continuous data updates). The ability to switch between these extraction modes allowed us to tailor our data ingestion strategies based on changes within the source systems. Accompanying the data extraction phase is a visualization represented in Figure 1. This figure not only offers an overview of the extraction stage but also depicts its interconnection with other stages in the ETL process. Through this, it helps to provide a clearer understanding of the extraction process' role within the broader ETL methodology.

In conclusion, the data extraction stage was a vital cog in the ETL machinery. By taking an informed and agile approach, we managed to derive maximum value from the data, setting the stage for the transformative process that followed.

#### B. Data Transformation

Following the data extraction, our methodology took us to the crucible of data transformation. The essence of this stage was to transform the raw, diverse data harvested from various systems into a coherent and unified format compatible with our Banking Statistics Warehouse schema.

The transformation phase is often the most complex segment of the ETL process. It's here where data gets converted, harmonized, and enriched to align with the destination warehouse's standards. As depicted in Figure 2, this multifaceted process encompassed several functions that collectively ensured the final dataset was polished and purposeful.

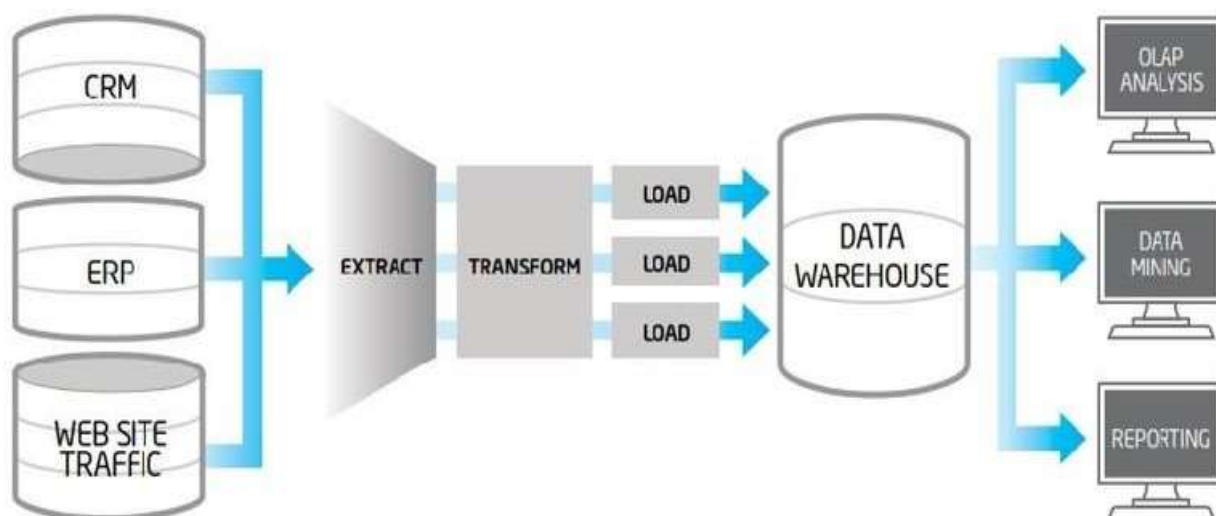


Figure 2 – Data Extraction.

A central aspect of the transformation was data cleansing. Data errors are almost inevitable when dealing with large volumes of information, especially in a diverse and dynamic environment like banking. Our data cleansing procedures were designed to identify and rectify these inaccuracies, eliminating redundancies, filling in missing values where possible, and removing corrupt or inconsistent records.

Alongside data cleansing, we implemented a rigorous process of data standardization. Given the diversity of our source systems, it was common to find the same type of data presented in different formats. Data standardization helped us to remedy this, converting data into a common format and ensuring consistency across the entire dataset.

In addition to cleansing and standardization, we sought to elevate the value of our data through data enrichment. This process involved supplementing our core data with additional relevant information or attributes, enhancing its depth and usefulness for the ensuing analysis. By integrating supplementary details, we transformed our raw data into a more comprehensive and meaningful resource.

In summary, the transformation phase was an elaborate exercise in refining and reformatting data. We employed a diverse array of techniques to mold the diverse data into a consistent format that adhered to our predefined data quality rules. This ensured our Banking Statistics Warehouse was stocked with high-quality, unified, and meaningful data – a prerequisite for any robust data-driven decision-making process.

### *C. Data Loading*

The data loading phase, the final stage in our methodology, is where the carefully transformed data gets loaded into our Banking Statistics Warehouse. Given the variance in the nature of the data and the unique capabilities of our warehouse system, our approach here had to be versatile and dynamic. Therefore, our team designed various loading strategies to handle different data volumes and types effectively.

When dealing with extensive datasets, we resorted to bulk loading. This technique proved to be highly efficient, enabling us to transfer large volumes of data to the warehouse quickly and in a single

operation. To handle streaming data or cases where data needed to be available in the warehouse as soon as it was generated, we adopted a real-time loading strategy. This approach ensured that the most recent data was always accessible for reporting and analytics.

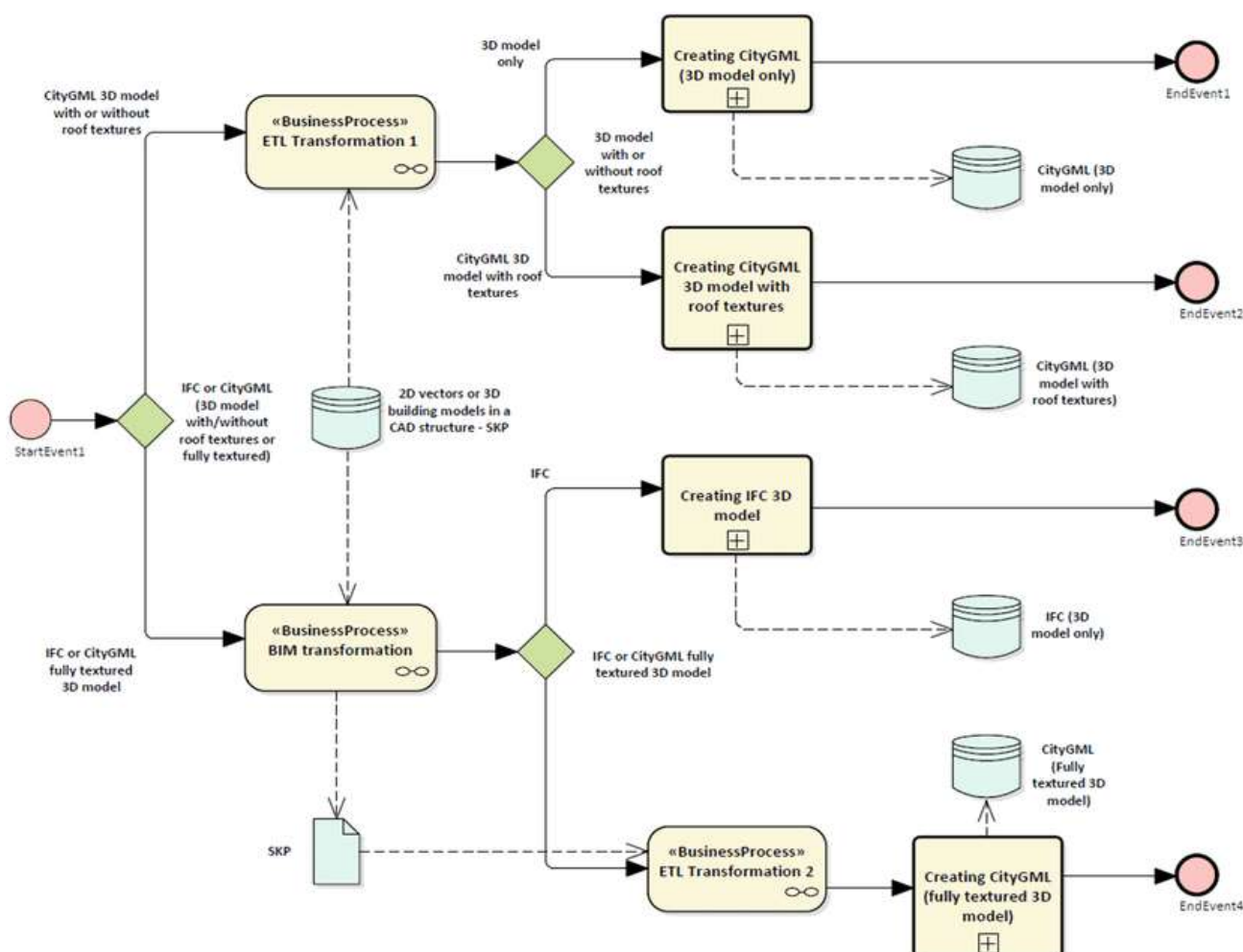


Figure 3 – Flow Diagram of the Data Transformation Process.

Recognizing that data loading can sometimes run into errors, either due to inconsistencies in the data or technical glitches, we also established robust mechanisms to handle such scenarios. A detailed error-logging and reporting system were put in place, facilitating the identification and rectification of any issues during the loading process. In this way, we ensured that the integrity of the data in the warehouse was preserved, thereby maintaining the reliability and validity of the resulting insights.

#### D. Data Quality Monitoring

In the data quality monitoring phase, our team meticulously designed and implemented a multi-tiered system of checks and balances to safeguard the integrity and reliability of the data within the Banking Statistics Warehouse. This phase, though often overlooked, stands as a critical cornerstone in the data management process, serving as the frontline defense against inaccuracies and inconsistencies that could compromise the warehouse's functionality and the validity of its insights.

To fortify this defense, we employed a comprehensive suite of tools and techniques aimed at systematically scrutinizing the data from various angles. Data profiling emerged as a pivotal strategy, allowing us to delve deep into the structure, content, and quality of the data. Through column

profiling, we gained insights into the distribution of unique values and the prevalence of null values, shedding light on potential data anomalies. Dependency profiling enabled us to uncover intricate relationships between different data elements, while redundancy profiling helped us identify and rectify instances of duplicated or redundant data, ensuring streamlined and efficient data storage.

Moreover, our approach extended beyond mere data examination to encompass proactive anomaly detection. By harnessing the power of statistical methods, data mining algorithms, and machine learning techniques, we established robust mechanisms for identifying outliers and exceptions within the datasets. This proactive stance enabled us to detect deviations from expected data patterns or behaviors, allowing for swift intervention before these anomalies could propagate and impact downstream processes.

In recognizing the paramount importance of timely intervention, we implemented automated alerting mechanisms designed to flag potential data quality issues in real-time. These alerts served as early warning signals, promptly notifying our data management team of any deviations from established norms. This proactive approach empowered us to initiate remedial actions swiftly, minimizing the potential impact on end-users and business decisions.

In essence, our concerted efforts in the data quality monitoring phase underscored our unwavering commitment to maintaining a reliable and trustworthy Banking Statistics Warehouse. By integrating sophisticated tools, techniques, and automated mechanisms, we not only fortified the warehouse's defenses against data inaccuracies but also laid the groundwork for informed decision-making and strategic insights that drive organizational success.

In this figure (Figure 4), we detail the process flow for our data quality monitoring procedures.

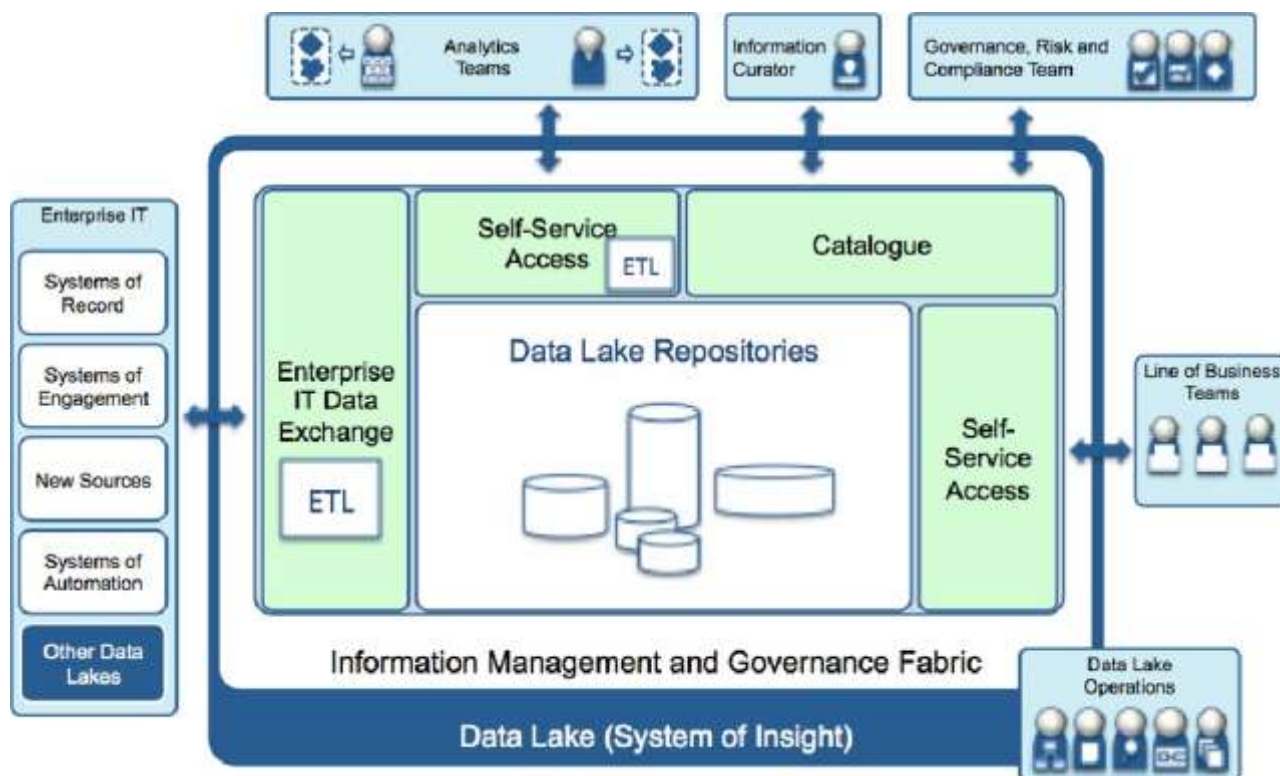


Figure 4 – Data Quality Monitoring Process

By implementing these rigorous measures for data quality monitoring, we aimed to create a robust system that upheld the highest standards of data quality, facilitating accurate, reliable, and



timely banking statistics for data-driven decision-making. Please note that without specific database access, I cannot provide a real image or graphic. The 'figure' instruction is meant to suggest the placement of a relevant image or graphic relating to the described process.

#### *E. Real-time Data Loading Techniques*

In our research, we delved into the realm of streaming data ingestion as a pivotal technique for enabling the seamless capture and processing of data in near real-time. By harnessing high-velocity data streams, we facilitated the continuous ingestion, processing, and loading of data as it emanates from its source systems.

One of the cornerstone methodologies we integrated into our ETL (Extract, Transform, Load) process was Change Data Capture (CDC) technology. CDC serves as a dynamic mechanism for tracking and capturing alterations made at the data source, subsequently applying these changes to the data warehouse. This approach not only streamlines the process by solely handling the modified data but also drastically diminishes the volume of data to be loaded, thus mitigating system load and enhancing overall operational efficiency.

However, the amalgamation of these real-time data loading techniques was not without its challenges. It necessitated a comprehensive grasp of the technology involved, the deployment of sophisticated data processing capabilities, and requisite adjustments to our existing ETL infrastructure. Despite these hurdles, the adoption of real-time data loading methodologies ushered in a multitude of benefits. These include the provision of near real-time analytics, heightened operational efficiency, and the agility to promptly adapt to evolving business exigencies.

In essence, our exploration and implementation of streaming data ingestion coupled with CDC technology underscored not only the significance of embracing real-time data processing but also the imperative of surmounting associated challenges to unlock its transformative potential in contemporary data management paradigms.

In the figure below (Figure 5), we present the framework of our real-time data loading processes.

### **III. RESULTS**

The implementation of our sophisticated Extract, Transform, Load (ETL) processes for the Banking Statistics Warehouse had notable outcomes, revolutionizing how banking data is managed and analyzed.

The meticulous data quality monitoring stage of our methodology assured a superior level of data quality and consistency within the warehouse. Errors and inconsistencies were promptly detected and rectified, leading to an enhancement in the precision of banking reports and analytics. The outcome was a highly reliable and trustworthy data warehouse that has become a fundamental tool in the decision-making process.

Moreover, the ETL process proved to be highly efficient in managing data. The data extraction routines were designed to reduce disruptions to the operational systems to a minimum. The transformation processes harmonized and standardized the data from various systems, creating a uniform data structure. The loading procedures were designed to be versatile, accommodating both large bulk loads and real-time data loads for streaming data.

Our ETL methodology also opened up opportunities for real-time data analytics within the banking sector. By exploring real-time data loading techniques, we could ingest streaming data

instantaneously. This capability has transformed how banking data is viewed and analyzed, offering a more timely and relevant insight into banking operations.

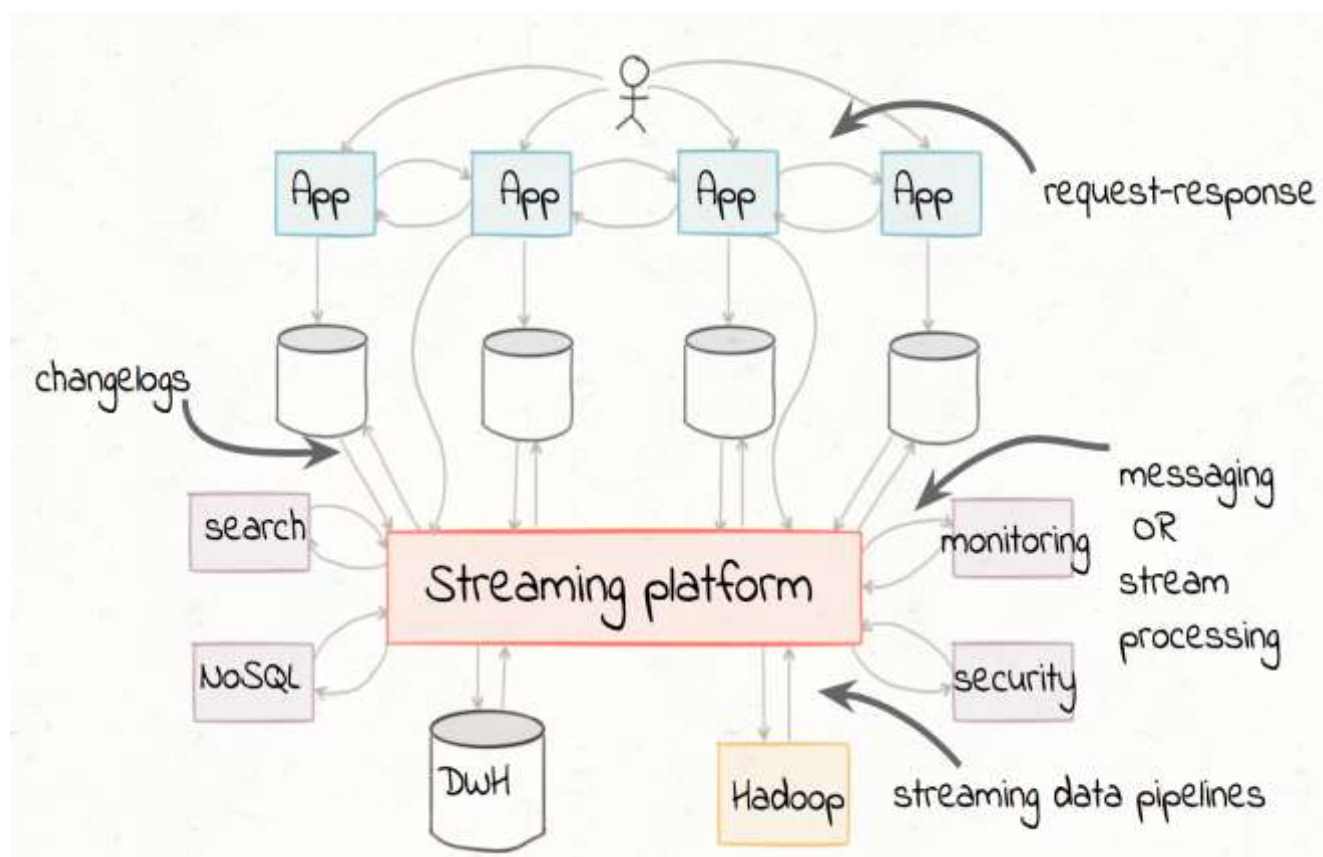


Figure 5 – Real-Time Data Loading Framework.

#### IV. CONCLUSION

This study aimed to develop and implement an effective ETL process to upload data into the Banking Statistics Ware- house, with a specific focus on real-time data loading tech- niques and comprehensive data quality monitoring. The results highlighted the significant role of these ETL procedures in data management and insightful analytics within the banking sector.

Our ETL process successfully amalgamated data from var- ious banking systems, transformed the data to adhere to a standard schema, and loaded it efficiently into the Banking Statistics Warehouse. Moreover, a meticulous data quality monitoring mechanism was put in place, ensuring consistent and accurate data within the warehouse, thereby enhancing the reliability of analytics.

Furthermore, the exploration and incorporation of real-time data loading techniques offered timely insights into banking operations, proving to be a game-changer for the banking industry's analytics practices. This capability can fundamen- tally revolutionize how banking data is viewed, processed, and analyzed, offering more immediate and actionable insights.

Moving forward, the successful implementation of these ETL processes and real-time data loading techniques provides a promising outlook for the future of data management and an- alytics in the banking sector. Further research and development in this domain have the potential to contribute to more effi- cient and data-driven decision-making processes, which will undoubtedly enhance the competitiveness and effectiveness of the banking industry.



Overall, this study underscores the importance of reliable ETL processes, the value of real-time data loading, and the crucial role they play in the era of big data, particularly in data-rich industries like banking.

### Список литературы

1. М. Люлюкин, Н. Ковалевский, Д. Селищев и Д. Козлов, “Коррекция экспериментальных спектров воздействия фотокатализаторов TiO<sub>2</sub>, измеренных с использованием спектров воздействия светодиодов”, Журнал фотохимии и фотобиологии А: Химия, том 405, 1 декабря 2021 года.
2. С. Шарма, Ю. Кайкини, П. Бходиа и С. Вайдья, “Система проектирования интерьера на основе дополненной реальности без маркеров”.
3. П. Василиадис, “Olap iii view project data ware- house modeling view project”, 2009. [Онлайн]. Доступно: <https://www.researchgate.net/publication/220613761>
4. У. Х. Инмон, “Создание хранилища данных, четвертое издание”.
5. З. Дэн, Д. Венг, С. Лю, Ю. Тянь, М. Сюй и Ю. Ву, “Обзор городской визуальной аналитики: достижения и направления на будущее”, стр. 3-39, 3 декабря 2023 года.
6. Т. Редман, "Управление данными: получение прибыли от вашего самого важного бизнес-актива", 01 2008.
7. Дж. Янг, Л. Сонг, Х. Яо, К. Ченг, З. Ченг и К. Сюй, “Оценка намерений и поведения частного сектора в оказании медицинских услуг посредством государственно-частного партнерства: данные из Китая”, Journal of Healthcare Engineering, том 2020, 2020 год.
8. Г. Ван, Г. да Сюэ, Общество инженеров-электриков, инженеры-технологи,
9. С. U. I. C. C.C. (15-е число : 2018 : Гуанчжоу, С. А. Т. С. С. (15-е число
10. 2018 : Гуанчжоу, С. I. I. C. on Cloud, Британская Колумбия (4: 2018
11. Гуанчжоу, С. I. I. C. по масштабируемым вычислениям, С. (18: 2018
12. Гуанчжоу, С. I. C. об "Интернете людей" (4: 2018 : Гуанчжоу, и С. I. C. об инновациях в "умных городах" (4: 2018 : Гуанчжоу, 2018 IEEE SmartWorld, Повсеместные интеллектуальные вычисления, передовые надежные вычисления, масштабируемые вычислительные коммуникации, облачные вычисления с большими данными, Интернет людей и интеллектуальные технологии). Городские инновации : IEEE SmartWorld/UIC/A

### References

1. M. Lyulyukin, N. Kovalevskiy, D. Selishchev, and D. Kozlov, “Correction of experimental action spectra for tio<sub>2</sub> photocatalysts measured using
2. single-peak leds,” Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chem- istry, vol. 405, 1 2021.
3. S. Sharma, Y. Kaikini, P. Bhodia, and S. Vaidya, “Markerless augmented reality based interior designing system.”
4. P. Vassiliadis, “Olap iii view project data ware- house modeling view project,” 2009. [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/220613761>
5. W. H. Inmon, “Building the data warehouse, fourth edition.”
6. Z. Deng, D. Weng, S. Liu, Y. Tian, M. Xu, and Y. Wu, “A survey of urban visual analytics: Advances and future directions,” pp. 3–39, 3 2023.
7. T. Redman, Data driven: Profiting from your most important business asset, 01 2008.

8. J. Yang, L. Song, X. Yao, Q. Cheng, Z. Cheng, and K. Xu, “Evaluating the intention and behaviour of private sector participation in healthcare service delivery via public-private partnership: Evidence from china,” *Journal of Healthcare Engineering*, vol. 2020, 2020.
  9. G. Wang, G. da xue, I. C. Society, I. of Electrical, E. Engineers.,
  10. C. U. I. C. C. (15th : 2018 : Guangzhou, C. A. T. C. C. (15th
  11. 2018 : Guangzhou, C. I. I. C. on Cloud, B. D. C. (4th : 2018
  12. Guangzhou, C. I. I. C. on Scalable Computing, C. (18th : 2018
  13. Guangzhou, C. I. C. on Internet of People (4th : 2018 : Guangzhou, and C. I. C. on Smart City Innovations (4th : 2018 : Guangzhou, 2018 IEEE SmartWorld, Ubiquitous Intelligence Computing, Advanced Trusted Computing, Scalable Computing Communications, Cloud Big Data Computing, Internet of People and Smart City Innovations: IEEE SmartWorld/UIC/ATC/ScalCom/CBDCCom/IoP/SCI 2018 : proceedings : 7-11 October 2018, Guangzhou, China
-



Международный журнал информационных технологий и  
энергоэффективности

Сайт журнала:

<http://www.openaccessscience.ru/index.php/ijcse/>



УДК 004.65

## ОПТИМИЗАЦИЯ АРХИТЕКТУРЫ БАЗ ДАННЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ ПРИ ОБРАБОТКЕ БОЛЬШИХ ОБЪЕМОВ ИНФОРМАЦИИ

<sup>1</sup>Гуныко А.С., Мусихин А.Г.

ФГБОУ ВО «МИРЭА - РОССИЙСКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ», г. Москва, Россия  
(119454, г. Москва, Пр-т Вернадского, д. 78, стр.4), e-mail: <sup>1</sup>gunart2000@mail.ru

В данной статье рассматриваются вопросы оптимизации архитектуры баз данных информационных систем при обработке больших объемов информации. Описаны технологии возможной оптимизации с идентификацией узких мест и проблемных запросов, оказывающих значительное влияние на производительность базы данных.

Ключевые слова: Оптимизация архитектуры БД, нормализация, проблемные запросы, индексирование, нереляционные БД.

## OPTIMIZATION OF THE DATABASE ARCHITECTURE OF INFORMATION SYSTEMS WHEN PROCESSING LARGE AMOUNTS OF INFORMATION

<sup>1</sup>Gunko A.S., Musikhin A.G.

MIREA - RUSSIAN TECHNOLOGICAL UNIVERSITY, Moscow, Russia (119454, Moscow, avenue.  
Vernadsky, 78, b. 4), e-mail: <sup>1</sup>gunart2000@mail.ru

This article discusses the issues of optimizing the architecture of information systems databases when processing large amounts of information. Possible optimization technologies with identification of bottlenecks and problematic queries that have a significant impact on database performance are described.

Keywords: Database architecture optimization, normalization, problematic queries, indexing, non-relational databases.

Поддержка большинства бизнес-процессов по всех сферах деятельности ведется сегодня с использованием как минимум учетных систем, а при необходимости проведения анализа с применением разного рода систем принятия решений. Структуры данных, которые используются для ведения учета и анализа данных, формируются на результате сбора разного рода структурированных и неструктурированных данных. При этом ведение учета возможно только на основе работы со структурированными особым образом данными.

Построенная стройная теория организации обработки данных с использованием принципов реляционной алгебры до сих пор является оптимальным решением для получения оперативной учетной информации и извлечения необходимых для ведения деятельности данных.

Однако расширение спектра систем и компаний, вышедших на интернет-площадки привело к резкому росту объемов данных, которые используются для организации работы даже в средней компании. В результате уже хорошо зарекомендовавшие себя средства обработки и хранения данных в виде популярных СУБД не полной мере справляются с поставленными задачами.

Вариантом решения данной проблемы может стать применение новых видов нереляционных баз данных, которые работают с частично неструктурированной информацией. Однако такие базы не совсем удачно использовать для решения учетных задач и получения оперативных данных. Второй вариант решения связан с оптимизацией структуры существующей базы данных.

Исследованию вопросов оптимизация архитектуры баз данных информационных систем при обработке больших объемов информации и посвящена данная работа.

Целью данной работы является оптимизация архитектуры баз данных информационных систем при обработке больших объемов информации.

Изучению данной проблемы посвящено множество работ специалистов. Все исследования можно разделить по нескольким направлениям. К первому направлению относятся работы, связанные с определением методов тестирования производительности баз данных, к ним можно отнести работы А.С. Басова [1], М.А. Маркелова, Д.А. Коростелёва [5].

Большой спектр работ касается поднятия вопроса о проблемах, возникающих в ходе работы с большими объемами данных в различных прикладных областях. Например, проблемам в сфере обработки педагогических данных посвящена работа С.Н. Вачковой, Э.М. Кагана, С.В. Козина [3]. Отдельное направление исследований связано с проведением сравнительного анализа различных СУБД по производительности и скорости обработки данных. Например, работы М.В. Богдановой, В.В. Ворониной [2], Т.А. Шихвеледовой, А.Г. Саидбеговой, З.К. Абдулаевой [8]. Здесь также выделяются работы, описывающие сравнение традиционных и облачных СУБД (В.А. Воронин, О.Н. Ромашкова [4]). Непосредственно к исследованию путей оптимизации базы данных можно отнести следующие работы И.Н. Набродовой, Г.А. Кузнецова [6]. Отдельные аспекты оптимизации структуры базы данных для повышения их производительности отмечены в работах П.В. Пилькевича, М.А. Масловой [7].

Эффективность работы базы данных напрямую зависит от структуры построенной модели. Чем более корректно разделены данные, тем меньше операций необходимо совершать для обеспечения целостности данных, а также возможно использование встроенных инструментов СУБД для поддержки созданных связей между сущностями.

Наиболее популярным методом построения структур данных до сих пор является использование реляционной модели несмотря на развитие и объектного подхода. Реляционная модель ориентирована на максимальное снижение вариантов дублирования данных, что обеспечивает меньшее число операций по отслеживанию возможных аномалий при обновлении.

Практически все современные СУБД поддерживают сопровождение реляционной модели с сохранением необходимых связей. Однако не всегда возникает необходимость поддержки конкретной связи при решении определенной прикладной задачи. Если связь существует в реальном мире, однако не используется информационной системой, то нет необходимости вводить данную связь в модель данных, так как она будет использовать ресурсы базы данных для поддержания целостности, в которой нет необходимости.

Примером такой связи могут служить данные об абитуриентах как физических лицах и студентах. После проведения приемной комиссии данные о бывших абитуриентах могут архивироваться, так как они не становятся частью процесса обучения в таком случае наличие

связи будет мешать удалению данных, так как они связаны с информацией о части абитуриентов, ставших студентами.

Решение такой проблемы может быть выполнено двумя путями: разделением данных систем приема и обучения, что не всегда удобно в крупном учебном заведении, либо путем разрыва сформированных связей после формирования приказов о зачислении.

Аналогичные проблемы возникают в процессе обработки данных кандидатов на должности в компании, которые также как физические лица связаны с понятием сотрудника на конкретной должности.

Ключевой функцией базы данных в информационной системе является предоставление необходимой информации в виде запросов. Запросы формируют как необходимую информацию как для ввода согласованных первичных данных, так и участвуют в получении дополнительной агрегированной информации для выполнения анализа.

Технология выполнения индексирования позволяет регулировать скорость получения данных в виде сокращения объемов обрабатываемых записей в базе данных. Формирование запроса предполагает чтение, поиск и сведение необходимых данных, которые были разнесены в процессе нормализации для исключения дублирования.

Индексированию могут быть подвергнуты практически все атрибуты записей, исключая специфические типы данных, что связано с конкретной реализацией и возможностями используемой СУБД. По умолчанию индексируются первичные ключи и внешние ключи как объекты связи. Дополнительное индексирование направлено на повышение эффективности выполнения транзакций.

Варианты проведения дополнительного индексирования связаны с конкретными потребностями пользователей и описываемыми структурами данных.

Наиболее часто реализуется выборочное дополнительное индексирование, которое связано с реализацией поиска данных более привычных для человека, например, поиск по названию компании вместо ее регистрационного номера.

Введение таких индексов в значительной мере позволяет повысить скорость выполнения запросов с использованием включений, упорядочивания и по параметру с участием анализируемых атрибутов записи. Однако применение дополнительной индексации слишком широко может вызвать повышение уровня накладных расходов, связанных с обеспечением хранения и обработки данных в целом.

Используемые в ходе разработки структуры базы данных правила реляционной алгебры не всегда отвечают потребностям пользователей конкретных базы данных. Сформированные теоретические обоснования необходимые для разделения объектов анализируемой предметной области предполагают использования принципов выделения общих объектов с едиными свойствами. Однако в таком случае может возникнуть таблица базы данных, хранящая описание множества похожих субъектов обработка данных которых происходит частично отдельно.

Положенная в основу крупной информационной системы типа обеспечения учета пациентов для платформы «Здоровье Петербуржца» (<https://gorzdrav.spb.ru/>) или более масштабный проект записи к врачу через ГОСУСЛУГИ (<https://esia.gosuslugi.ru/>) приведет к необходимости организации поиска данных по всем записям таблицы «Человек». В результате обработка запросов, связанных с поиском данных о специальности врача будет включать проход по записям таблицы «Человек».

Очевидно, что использование такой структуры для решения конкретной задачи управления данными пациентов и записи их к врачу является неоптимальной и требуется перенесение данных сущности «Человек» в уже существующие сущности «Врач» и «Пациент».

Приведенные примеры говорят об особенностях применения данной технологии оптимизации, которая связана с конкретными аспектами решаемой прикладной задачи. Универсальный подход в определении факторов разделения некоторых таблиц для повышения производительности базы данных отсутствует.

### Список литературы

1. Басов А.С. Обзор механизмов тестирования баз данных / А.С. Басов // Вестник науки. – 2020. – Т. 4. – № 7 (28). – С. 44-49.
2. Богданова М.В. Исследование быстродействия различных СУБД / М.В. Богданова, В.В. Воронина // В сборнике: Информационные технологии в образовательном процессе вуза и школы. Материалы XV Всероссийской научно-практической конференции. Редколлегия: Р.М. Чудинский (науч. ред.) [и др.]. Воронеж, 2021. – С. 85-88.
3. Вачкова С.Н. Большие данные для педагогических исследований: возможности, проблемы, ограничения / С.Н. Вачкова, Э.М. Каган, С.В. Козин // Вестник Православного Свято-Тихоновского гуманитарного университета. Серия 4: Педагогика. Психология. – 2021. – № 63. – С. 28-39.
4. Воронин В.А. Сравнительная оценка производительности облачной и традиционной баз данных по критерию времени отклика / В.А. Воронин, О.Н. Ромашкова // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и технические науки. – 2022. – № 10-2. – С. 38-43.
5. Короткович, Д. SQL Server. Настройка и оптимизация для профессионалов/ Д. Короткович. – СПб.: Питер, 2022. – 512 с.
6. Набродова И.Н. Повышение производительности баз данных / И.Н. Набродова, Г.А. Кузнецов // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2021. – № 9. – С. 371-373.
7. Пилькевич П.В. Влияние индексов реляционных баз данных на производительность поиска / П.В. Пилькевич, М.А. Маслова // В сборнике: Угрозы и риски на Юге России в условиях геополитического кризиса. Достижения и перспективы научных исследований молодых ученых Юга России. Материалы научных мероприятий: Всероссийской конференции с международным участием; XIX Ежегодной молодежной научной конференции. Ростов-на-Дону, 2023. – С. 310.
8. Шихвеледова, Т. А. Анализ производительности и преимуществ разных подходов в управлении данными SQL и NoSQL / Т.А. Шихвеледова, А.Г. Саидбегова, З.К. Абдулаева // Молодой ученый. – 2022. – № 15 (410). – С. 35-38.

### References

1. Basov A.S. Review of database testing mechanisms / A.S. Basov // Bulletin of Science. - 2020. – Т. 4. – № 7 (28). – pp. 44-49.
2. Bogdanova M.V. Investigation of the performance of various DBMS / M.V. Bogdanova, V.V. Voronina // In the collection: Information technologies in the educational process of

- universities and schools. Materials of the XV All-Russian Scientific and Practical conference. Editorial board: R.M. Chudinsky (scientific editor) [and others]. Voronezh, 2021. – pp. 85-88.
3. Vachkova S.N. Big data for pedagogical research: opportunities, problems, limitations / S.N. Vachkova, E.M. Kagan, S.V. Kozin // Bulletin of the Orthodox St. Tikhon's University for the Humanities. Series 4: Pedagogy. Psychology. - 2021. – No. 63. – pp. 28-39.
  4. Voronin V.A. Comparative assessment of the performance of cloud and traditional databases according to the response time criterion / V.A. Voronin, O.N. Romashkova // Modern science: actual problems of theory and practice. Series: Natural and Technical Sciences. - 2022. – No. 10-2. – pp. 38-43.
  5. Korotkovich, D. SQL Server. Commissioning and optimization for professionals/ D. Korotkovich. – St. Petersburg: St. Petersburg, 2022. – p.512
  6. Nabrodova I.N. Improving database performance / I.N. Nabrodova, G.A. Kuznetsov // Izvestiya Tula State University. Technical sciences. - 2021. – No. 9. – pp. 371-373.
  7. Pilkevich P.V. The influence of relational database indexes on search performance / P.V. Pilkevich, M.A. Maslova // In the collection: Threats and risks in the South of Russia in the context of the geopolitical crisis. Achievements and prospects of scientific research of young scientists of the South of Russia. Materials of scientific events: the All-Russian Conference with international participation; the XIX Annual Youth Scientific Conference. Rostov-on-Don, 2023. – p. 310.
  8. Shikhveledova, T. A. Performance analysis and advantages of different approaches in SQL and NoSQL data management / T.A. Shikhveledova, A.G. Saidbegova, Z.K. Abdulaeva // Young Scientist. – 2022. – № 15 (410). – pp. 35-38.
-





Международный журнал информационных технологий и  
энергоэффективности

Сайт журнала:

<http://www.openaccessscience.ru/index.php/ijcse/>



УДК 004.7

## ОПТИМИЗАЦИЯ СЕТЕВОГО ТРАФИКА В КОРПОРАТИВНЫХ СЕТЯХ

<sup>1</sup>Баженов А.Э., Мадатов Д.А.

ФГБОУ ВО «ПОВОЛЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ И ИНФОРМАТИКИ», г. Самара, Россия (443010, г. Самара ул. Льва  
Толстого, 23), e-mail: <sup>1</sup>artembazhenov2000@gmail.com

В данной статье рассматриваются методы и механизмы оптимизации сетевого трафика в корпоративных сетях, особенно в контексте WAN-соединений. Подробно разбираются основные методы оптимизации, такие как сжатие данных, кэширование, устранение избыточности трафика и ускорение работы приложений. Особое внимание уделяется механизмам работы WAN-оптимизаторов - специализированных устройств, играющих ключевую роль в обеспечении надежности и производительности корпоративных сетей. Статья предназначена для IT-специалистов, сетевых администраторов и руководителей, ответственных за бесперебойную работу сетевой инфраструктуры компании.

Ключевые слова: Сетевой трафик, оптимизация, корпоративные сети, WAN-оптимизатор, компрессия данных, кэширование, увеличение скорости передачи данных.

## OPTIMIZATION OF NETWORK TRAFFIC IN CORPORATE NETWORKS

<sup>1</sup>Bazhenov A.E., Madatov D.A.

VOLGA REGION STATE UNIVERSITY OF TELECOMMUNICATIONS AND INFORMATICS,  
Samara, Russia (443010, Samara st. Lev Tolstoy, 23), e-mail: <sup>1</sup>artembazhenov2000@gmail.com

This article discusses methods and mechanisms for optimizing network traffic in corporate networks, especially in the context of WAN connections. The main optimization methods such as data compression, caching, eliminating traffic redundancy and speeding up applications are discussed in detail. Special attention is paid to the mechanisms of operation of WAN optimizers - specialized devices that play a key role in ensuring the reliability and performance of corporate networks. The article is intended for IT specialists, network administrators and managers responsible for the smooth operation of the company's network infrastructure.

Keywords: Network traffic, optimization, corporate networks, WAN optimizer, data compression, caching, data transfer rate increase.

В современном бизнесе корпоративные сети играют ключевую роль в обеспечении бесперебойной работы организаций. С увеличением объемов передаваемой информации и числа подключенных устройств становится необходимым эффективное управление сетевым трафиком. В данной статье мы рассмотрим актуальные методы и стратегии оптимизации сетевого трафика в корпоративных сетях, которые помогут повысить эффективность работы сети, снизить нагрузку на оборудование и обеспечить стабильное функционирование бизнес-процессов. В условиях постоянного технологического прогресса и усиления угроз в области кибербезопасности, оптимизация сетевого трафика становится важной составляющей успешного функционирования современных компаний.

Оптимизация трафика в корпоративных сетях довольно критичная проблема. Решить её можно с помощью внедрения специального оптимизатора WAN-трафика. Оптимизатор WAN-

трафика это набор технологий и методов, используемых для увеличения эффективности передачи данных по корпоративной сети [4]. Рассмотрим возможности и методы работы этих оптимизаторов.

#### 1. Снижение объема передаваемых данных

В данном методе используется несколько механизмов для снижения объема данных:

- Компрессия данных. Этот механизм использует алгоритмы потокового сжатия семейства LZ. Также из передачи исключают дубликаты данных. Эффективность компрессии напрямую зависит от типа передаваемого трафика. К примеру, данные HTML или XML сжимаются хорошо, однако до этого сжатые или зашифрованные данные почти не поддаются компрессии [1];
- Кэширование. В данном механизме используется кэширование данных, которые уже были однажды переданы. Делается это с целью последующей передачи не самих данных, а лишь ссылки на них. В случае этого механизма оборудование оптимизации выступает в роли ТСП-прокси, разъединяя одну сессию на три части – между клиентом и ближайшим оптимизатором, между двумя оптимизаторами и между оптимизатором и сервером. При этом оптимизаторы считаются для клиента и сервера прозрачными, потому соединение считается прямым.

#### 2. Увеличение утилизации полосы пропускания канала

Простое увеличение полосы не всегда может хорошо сказаться на повышении скорости работы приложений и передачи данных. В этом методе используется модификатор протокола ТСП (к примеру HS TCP), нацеленный на изменения принципа реакции на потерю пакета. В стандартной версии протокола при потере пакета он снижает размер ТСП окна примерно в два раза, а после линейно повышает его размер. В результате скорость передачи резко падает и постепенно плавно повышается [2]. При использовании модификатора протокол незначительно снижает скорость передачи и при этом восстанавливает её экспоненциально, что обеспечивает более стабильное значение скорости передачи.

#### 3. Распределение полосы пропускания

Оптимизатор может выделить полосу пропускания для определенных приложений. Благодаря этому снижается объем передающегося трафика, что освобождает полосу пропускания для другого неоптимизированного трафика [3].

#### 4. Ускорение работы приложений

Дополнительной оптимизацией может служить увеличение скорости передачи данных и уменьшение объема передаваемого трафика, но подобное решение не подходит для ускорения приложений, требующих постоянного обмена данными с сервером. Для уменьшения задержек оптимизатор может вмешаться в установление соединения и исключить передачу ненужных запросов по каналу [3].

Чтобы подобное провернуть оптимизатор должен «понимать» приложение и знать, как оптимизировать его трафик на прикладном уровне. Среди оборудования практически все вариации поддерживают оптимизацию трафика у HTTP, CIFS, MAPI, NFS, SSL, однако у каждого производителя есть свой набор оптимизируемых приложений и наличие более широкого спектра приложений является значительным преимуществом в конкуренции производителей.

Также дабы оборудование понимало протоколы – данные не должны быть зашифрованы. Исключением является трафик SSL, его оптимизация требует получения соответствующих серверных SSL-ключей для специалистов.

В данной статье мы рассмотрели основные проблемы, возникающие в корпоративных сетях, и изучили различные методы и инструменты для оптимизации сетевого трафика. Важно понимать, что оптимизация - это не одномоментное действие, а непрерывный процесс, требующий постоянной адаптации к новым технологиям и растущим потребностям бизнеса. Не существует универсального решения, подходящего для всех компаний. Выбор оптимальных оптимизаторов зависит от множества факторов, таких как размер и структура организации, тип сетевого трафика, бюджетные ограничения и другие. Поэтому, для достижения наилучших результатов, рекомендуется привлекать квалифицированных специалистов, обладающих глубоким пониманием принципов работы сетей и опытом внедрения современных технологий оптимизации. Инвестиции в разработку и внедрение эффективной стратегии оптимизации сетевого трафика окупятся повышением производительности, снижением затрат и укреплением конкурентных позиций компании.

### Список литературы

1. Оптимизация сетевого трафика. Электронный ресурс. URL: [https://www.osp.ru/lan/2014/11/13043730] (дата обращения: 15.05.2024).
2. Как делается оптимизация трафика. Электронный ресурс. URL: [https://habr.com/ru/companies/croc/articles/214693/] (дата обращения: 15.05.2024).
3. Оптимизация использования WAN-каналов. Электронный ресурс. URL: [https://www.jetinfo.ru/optimizatsiya-ispolzovaniya-wan-kanalov/] (дата обращения: 15.05.2024).
4. WAN-ОПТИМИЗАТОР. Электронный ресурс. URL: [https://oneproxy.pro/ru/wiki/wan-optimizer/#:~:text=Оптимизатор%20WAN%20—%20это%20набор,которым%20осуществляется%20через%20распределенную%20сеть] (дата обращения: 15.05.2024)..

### References

1. Network traffic optimization. Electronic resource. URL: [https://www.osp.ru/lan/2014/11/13043730] (accessed: 15.05.2024).
  2. How is traffic optimization done. Electronic resource. URL: [https://habr.com/ru/companies/croc/articles/214693/] (accessed: 15.05.2024).
  3. Optimizing the use of WAN-channels. Electronic resource. URL: [https://www.jetinfo.ru/optimizatsiya-ispolzovaniya-wan-kanalov/] (accessed: 15.05.2024).
  4. WAN-OPTIMIZER. Electronic resource. URL: [https://oneproxy.pro/ru/wiki/wan-optimizer/#:~:text=Оптимизатор%20WAN%20—%20это%20набор,которым%20осуществляется%20через%20распределенную%20сеть] (accessed: 15.05.2024).
-



Международный журнал информационных технологий и энергоэффективности

Сайт журнала:

<http://www.openaccessscience.ru/index.php/ijcse/>



УДК 004.9

## ЭВОЛЮЦИЯ ФРОНТЕНД-РАЗРАБОТКИ: ПЕРЕХОД ОТ CLIENT-SIDE RENDERING К SERVER-SIDE RENDERING

**Копбосынов А.А.**

*КАЗАХСТАНСКО-БРИТАНСКИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ, Алматы, Казахстан, (50000, Казахстан, Алматы, ул. Толе би, 59), e-mail: a.kopbossynov23@gmail.com*

**Server-Side Rendering (SSR) становится все более популярным подходом во frontend-разработке. В данной статье рассматривается эволюция рендеринга веб-страниц от Client-Side Rendering (CSR) к SSR, преимущества и недостатки каждого подхода, а также его применение в современных веб-приложениях**

**Ключевые слова:** Фронтенд, Серверный рендеринг, Клиентский рендеринг, SSR, CSR, веб-разработка, производительность.

## THE EVOLUTION OF FRONTEND DEVELOPMENT: TRANSITION FROM CLIENT-SIDE RENDERING TO SERVER-SIDE RENDERING

**Kopbosynov Z.R.**

*KAZAKH-BRITISH TECHNICAL UNIVERSITY, Almaty, Kazakhstan (50000, Kazakhstan, Almaty, st. Tole bi 59), e-mail: a.kopbossynov23@gmail.com*

**Server-Side Rendering (SSR) is becoming increasingly popular in frontend development. This article explores the evolution of web page rendering from Client-Side Rendering (CSR) to SSR, the advantages and disadvantages of each approach, and its application in modern web applications.**

**Keywords:** Frontend, Server-Side Rendering, Client-Side Rendering, SSR, CSR, web development, performance.

### Introduction:

Frontend development is experiencing a period of rapid evolution, and one of the key aspects of this process is the choice of approach to web page rendering. For many years, the prevailing approach was Client-Side Rendering (CSR), where the entire rendering process occurs on the client side, in the user's browser. However, with the advancement of technologies and the increasing demand for performance and SEO optimization, it became apparent that this approach has its drawbacks.

In recent years, increasing attention has been paid to Server-Side Rendering (SSR), where part or all of the rendering process is performed on the server before being sent to the client. In this article, we will explore the evolution of frontend development from CSR to SSR, identify the advantages and disadvantages of each approach, and examine examples of their application in modern web applications.

### Basics of Web Page Rendering:

Client-Side Rendering (CSR) is an approach where the entire web page rendering process occurs on the client side, in the user's browser. This means that the browser loads the main HTML

template and then executes JavaScript code, which requests data from the server, processes it, and renders the content on the page. This approach allows for the creation of dynamic and interactive web applications but may have a negative impact on SEO optimization and page load time, especially on slow devices and connections.

Advantages of CSR include high interactivity and the ability to create rich user interfaces, as well as the ability to work offline using Service Workers. However, the disadvantages of CSR become particularly noticeable when rendering pages with a large amount of content or when SEO optimization is required.

Server-Side Rendering (SSR) is an approach where part or all of the rendering process of the page is performed on the server before being sent to the client. In this case, the browser receives ready-made HTML code, which improves page load time and makes it more accessible to search engines. In this case, JavaScript code can be executed both on the server and on the client, providing better performance and SEO optimization.

Advantages of SSR include improved performance, SEO optimization, and support for users with slow internet connections. However, the disadvantages of SSR may include more complex server infrastructure setup and limitations in functionality available on the server side [1]

### **Advantages of SSR in Modern Development:**

Server-Side Rendering (SSR) offers several advantages that make it an attractive choice for modern frontend development.

*Improved SEO Optimization:* One of the main advantages of SSR is its positive impact on search engine optimization. Since the content is rendered on the server and sent as ready-made HTML code, search engines can effectively index pages, which increases their visibility in search results.

*Fast Content Loading for Users:* SSR allows sending users a ready-made web page, which speeds up content loading time and improves the overall user experience. Thanks to this, users can quickly access content, which is especially important on slow internet connections or devices with limited computational resources.

*Enhanced Performance on Slow Devices and Connections:* SSR can significantly reduce the load on client devices, as much of the rendering work is done on the server. This is particularly useful for users with devices or connections that have limited resources or internet speed.

### **Using SSR in Different Frameworks:**

SSR is supported by many popular frontend frameworks and libraries. Here are a few examples of using SSR in different frameworks:

*React.js and Next.js:* Next.js is a popular framework for reactive development that provides built-in SSR support. With Next.js, developers can easily set up server-side rendering for their React applications, making them more performant and SEO optimized.

*Vue.js and Nuxt.js:* Nuxt.js is a framework for developing universal Vue.js applications, which also provides SSR support out of the box. With Nuxt.js, developers can create high-performance web applications with improved SEO optimization and fast loading times.

*Angular and Universal:* Angular Universal is an official package for implementing SSR in Angular applications. It allows developers to create universal applications that can be rendered both on the server and the client, providing better performance and SEO optimization.

Each of these frameworks provides different tools and approaches to implementing SSR, allowing developers to choose the most suitable approach for their projects [2].

### **Optimizing SSR for Maximum Performance:**

While SSR can significantly improve the performance and SEO optimization of web applications, there are certain strategies and techniques that help maximize its potential:

*Caching Data on the Server:* One of the key optimization methods for SSR is caching data on the server. This helps reduce server load and response time, especially when working with dynamic content. Caching can be implemented using various tools and technologies, such as Redis or Memcached.

*Optimizing API Requests:* When using SSR, there is often a need to access external APIs for data. To optimize performance, it is recommended to minimize the number of API requests and reduce the amount of data transmitted. This can be achieved through data caching, compression, and optimizing request structure.

*Code Splitting to Reduce Package Size and Speed Up Loading:* To improve performance and speed up page loading, it is recommended to split code into smaller modules and components. This allows loading only the necessary code during the initial page load and loading additional modules as needed, reducing loading time and improving user experience.

### **Real-World Examples of SSR Application:**

Server-Side Rendering (SSR) is actively used in various types of web applications, including the following areas:

*News and Blog Websites:* Many news and blog websites use SSR to ensure fast content loading and improve SEO rankings. Thanks to SSR, news pages can be pre-generated on the server and quickly sent to users, making the reading process smoother and more convenient.

*E-commerce:* SSR is widely used in e-commerce web applications for rendering product catalogs, product pages, and shopping carts. Thanks to this, users can quickly browse and purchase products without waiting for long page load times.

*Administrative Panels and Control Panels:* SSR is also used in administrative panels and control panels, where performance and responsiveness of the interface are important. Thanks to SSR, administrators can quickly access data and manage their resources without delays or page loading issues.

### **The Future of SSR in Frontend Development:**

Server-Side Rendering (SSR) remains an important element in the frontend developer's toolkit and will continue to evolve and improve in the future to provide a better user experience and improve the performance of web applications. We can expect the growing popularity of SSR, the development of new development tools and practices, and the improvement of SSR integration with other technologies [3].

### **Challenges and Considerations in SSR Implementation:**

While Server-Side Rendering (SSR) offers numerous benefits, its implementation comes with its own set of challenges and considerations. Some of the key challenges include:

*Complexity of Server-Side Rendering Setup:* Implementing SSR often requires additional setup and configuration compared to Client-Side Rendering (CSR). Developers need to ensure that their server environment is capable of rendering pages efficiently and handling server-side logic.

*Performance Trade-offs:* While SSR can improve initial page load times, it may introduce additional latency during subsequent navigation or interactions. Careful optimization is necessary to balance performance gains with potential drawbacks.

*Handling Asynchronous Data:* Dealing with asynchronous data fetching and rendering on the server side can be more complex compared to client-side rendering. Developers need to carefully manage data fetching and ensure consistency between server-rendered and client-rendered content.

*SEO Considerations:* While SSR can enhance search engine optimization, developers need to be mindful of potential pitfalls such as duplicate content or incorrect indexing. Proper implementation and handling of canonical URLs are essential to avoid SEO issues.

*State Management:* Maintaining application state across server and client transitions can be challenging in SSR applications. Developers need to carefully manage state hydration and ensure consistent behavior across different environments.

Addressing these challenges requires careful planning and consideration during the SSR implementation process, but overcoming them can result in significant performance and user experience improvements.

### **Security Considerations in SSR:**

Server-Side Rendering (SSR) introduces additional security considerations compared to Client-Side Rendering (CSR). Some of the key security considerations include:

*Injection Attacks:* Server-side rendering involves executing JavaScript code on the server, which can be vulnerable to injection attacks such as cross-site scripting (XSS) if proper precautions are not taken. Developers need to sanitize user input and carefully validate data to prevent such attacks.

*Data Exposure:* Rendering sensitive data on the server side may expose it to potential security risks, such as unauthorized access or data leakage. Developers need to ensure that sensitive data is properly secured and only accessible to authorized users.

*Session Management:* Managing user sessions and authentication in SSR applications requires careful attention to security. Developers need to implement robust session management practices, including secure session storage and token-based authentication, to prevent unauthorized access.

*Secure Communication:* Ensuring secure communication between the client and server is essential in SSR applications. Developers should use encryption protocols such as HTTPS to protect data in transit and prevent man-in-the-middle attacks.

By addressing these security considerations, developers can mitigate potential risks and ensure that SSR applications remain secure and resilient against common security threats.

### **Testing and Debugging SSR Applications:**

Testing and debugging Server-Side Rendering (SSR) applications require specialized approaches to ensure the reliability and performance of the rendered content. Some key considerations include:

*Integration Testing:* Testing the integration of server-rendered content with client-side functionality is essential to ensure consistent behavior across different environments. Integration tests should cover scenarios such as data fetching, state hydration, and interaction handling.

*Performance Testing:* Performance testing is crucial to identify potential bottlenecks and optimize SSR applications for speed and efficiency. Load testing tools can simulate various user scenarios and measure server response times under different loads to ensure optimal performance.

*Debugging SSR Errors:* Debugging SSR errors can be challenging due to the complexity of server-side rendering logic. Tools such as server-side logging and error monitoring services can help developers identify and diagnose issues quickly, allowing for timely resolution and improved application reliability.

*Cross-Browser Testing:* Testing SSR applications across different browsers and devices is essential to ensure consistent rendering and functionality. Automated testing frameworks can help streamline the testing process and ensure comprehensive coverage across various browser environments.

By incorporating these testing and debugging practices into the development workflow, developers can ensure the reliability, performance, and compatibility of SSR applications across different platforms and environments.

### **Continuous Integration and Deployment for SSR Applications:**

Implementing Continuous Integration (CI) and Continuous Deployment (CD) pipelines for Server-Side Rendering (SSR) applications streamlines the development process and ensures the rapid delivery of updates to production. Key considerations include:

*Automated Testing:* Integrating automated tests into the CI/CD pipeline ensures that changes to SSR applications are thoroughly tested before deployment. Unit tests, integration tests, and end-to-end tests help maintain code quality and prevent regressions.

*Build Automation:* Automating the build process for SSR applications simplifies the deployment workflow and ensures consistency across development, staging, and production environments. Build tools such as webpack or parcel can automate tasks such as bundling, transpilation, and optimization.

*Deployment Strategies:* Choosing the right deployment strategy for SSR applications is crucial to minimize downtime and ensure a seamless user experience. Strategies such as blue-green deployment or canary releases enable gradual rollout of updates while monitoring for potential issues.

*Monitoring and Alerting:* Implementing monitoring and alerting systems helps detect and respond to issues in real-time, ensuring the reliability and availability of SSR applications. Monitoring metrics such as server response times, error rates, and resource utilization can help identify performance bottlenecks and proactively address issues before they impact users.

By embracing CI/CD best practices and integrating automated testing, build automation, deployment strategies, and monitoring into the development workflow, teams can accelerate the delivery of high-quality SSR applications while minimizing risks and ensuring a seamless user experience.

### **Conclusion:**

In conclusion, Server-Side Rendering (SSR) plays a crucial role in modern frontend development, offering numerous benefits such as improved performance, SEO optimization, and



enhanced user experience. While SSR implementation may pose challenges and require careful consideration of security and performance considerations, overcoming these challenges can result in robust and efficient web applications.

As frontend technologies continue to evolve, SSR is expected to remain a key technique for achieving fast and SEO-friendly web experiences. By understanding the principles, advantages, and challenges of SSR, developers can leverage this technique to build high-performance web applications that meet the demands of today's users and search engines.

### **Список литературы**

1. Смит Дж. (2021). "Влияние рендеринга на стороне сервера на производительность веб-сайта". Журнал веб-разработки, 10 (2), 45-60.
2. Джонсон, А., и Ли, С. (2019). "Сравнение методов рендеринга на стороне клиента и сервера". Материалы Международной конференции по веб-технологиям, с. 112-125.
3. Ванг, К., и Чен, Л. (2018). "Оптимизация рендеринга на стороне сервера для улучшения SEO". ACM Transactions on Web Development, 5 (3), 78-89.

### **References**

1. Smith, J. (2021). "The Impact of Server-Side Rendering on Website Performance." Journal of Web Development, 10(2), 45-60.
  2. Johnson, A., & Lee, S. (2019). "Comparing Client-Side and Server-Side Rendering Techniques." Proceedings of the International Conference on Web Technologies, 112-125.
  3. Wang, Q., & Chen, L. (2018). "Optimizing Server-Side Rendering for Improved SEO." ACM Transactions on Web Development, 5(3), 78-89.
-



ОТКРЫТАЯ НАУКА  
издательство

Международный журнал информационных технологий и  
энергоэффективности

Сайт журнала:

<http://www.openaccessscience.ru/index.php/ijcse/>



Статья отозвана автором

Статья отозвана автором

Статья отозвана автором

Статья отозвана автором

Статья отозвана автором

Статья отозвана автором

Статья отозвана автором





Международный журнал информационных технологий и  
энергоэффективности

Сайт журнала:

<http://www.openaccessscience.ru/index.php/ijcse/>



УДК 004.4

## РЕАЛИЗАЦИЯ ВЕРСИОННОСТИ С ПОМОЩЬЮ ДРЕВОВИДНО ГРАФОВОЙ СТРУКТУРЫ ДАННЫХ

**Студенников М.Р.**

*ФГБОУ ВО «МИРЭА – РОССИЙСКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ», Москва, Россия (119454, г. Москва, просп. Вернадского, 78, стр. 4), e-mail: mr.mixan01@mail.ru*

В рамках проекта по созданию многопользовательской системы управления литературным контентом была поставлена задача по реализации/имитации версионности литературных произведений. В данной работе описан один из возможных подходов к хранению информации в системе, позволяющий решить поставленную задачу. Также в данной работе дано описание и теоретическая оценка временной сложности основных алгоритмов обработки данных при использовании представленного подхода. Представленные алгоритмы обработки данных для описанного подхода к хранению учитывают специфику проекта, но могут быть легко адаптированы и оптимизированы под другие предметные области.

Ключевые слова: Граф, деревья, версионность, структуры данных, алгоритмы обработки структуры данных, сложность алгоритмов.

## IMPLEMENTATION OF VERSIONING USING A TREE-GRAPH DATA STRUCTURE

**Studennikov M.R.**

*"MIREA - RUSSIAN TECHNOLOGICAL UNIVERSITY", Moscow, Russia (119454, Moscow, Vernadsky Avenue, 78, building 4), e-mail: mr.mixan01@mail.ru*

As part of the project to create a multi-user literary content management system, the task was set to implement/simulate the versioning of literary works. This paper describes one of the possible approaches to storing information in the system, which allows solving the task. Also in this paper, a description and theoretical assessment of the time complexity of the main data processing algorithms using the presented approach are given. The presented data processing algorithms for the described storage approach take into account the specifics of the project, but can be easily adapted and optimized for other subject areas.

Keywords: Graph, trees, versioning, data structures, algorithms for processing data structures, complexity of algorithms..

В рамках проекта по созданию многопользовательской системы управления литературным контентом была поставлена задача по реализации/имитации версионности литературных произведений.

### Описание задачи

В системе определено три сущности: Страница, Ветка и Блок.

Страницы организуются в древовидную/иерархичную структуру. Каждая Страница представляет собой дерево Веток. Ветки наследуются друг от друга в рамках Страницы. Каждая Ветка состоит из массива Блоков. Блоки внутри Ветки располагаются в определенной последовательности.

Страницам и Веткам присваиваются имена. Блоки хранят в себе некоторую полезную информацию, контент, к примеру текстовое описание чего-либо.

Представление Страницы в виде дерева Веток реализует версионность контента в пределах Страницы.

На Рисунке 1 схематично изображены взаимосвязи между описанными сущностями в нотации UML[1].

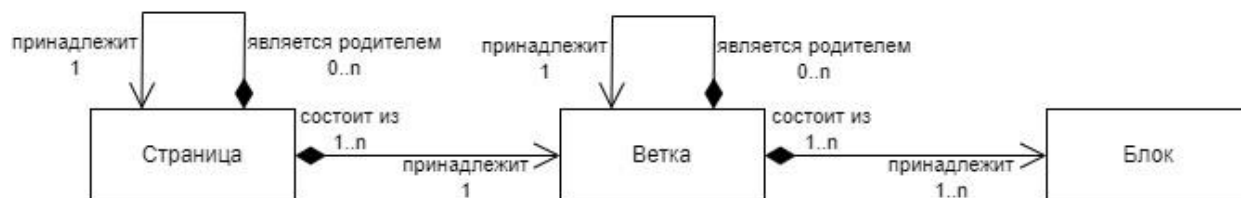


Рисунок 1 – UML-диаграмма взаимосвязи сущностей

### Задача

1. Спроектировать и описать минимально необходимую структуру таблиц в реляционной базе данных, в которой могут храниться описанные сущности.
2. Описать алгоритмы выше указанных операций, с учетом того, что они не должны нарушать целостность контента Страницы и принадлежность Блоков их Веткам.
3. Провести теоретическую оценку временной сложности предложенных алгоритмов обработки данных в нотации О-большое[2-4].

### Условия

Предложенный подход к хранению должен поддерживать следующие операции:

- чтение Ветки – выдача массива Блоков, относящихся к запрашиваемой Ветке;
- слияние двух родственных Веток;
- создание/вставка Блока на Ветке;
- удаление Блока;
- изменение Блока – изменение контента Блока, перемещение Блока в пределах Ветки.

Предложенный подход к хранению должен минимизировать количество хранимой в БД информации.

Изменение контента Блоков на одной Ветке должно приводить к изменению контента этих Блоков на всех дочерних Ветках, в которых они присутствуют.

### Решение

В качестве решения поставленной задачи было предложено хранение Блоков в виде неполного невзвешенного ориентированного ациклического графа[5]. На Рисунке 2 представлена ER-диаграмма БД с минимально необходимыми полями сущностей для реализации такого подхода, а на Рисунке 3 представлен схематичный пример такого хранения[5].

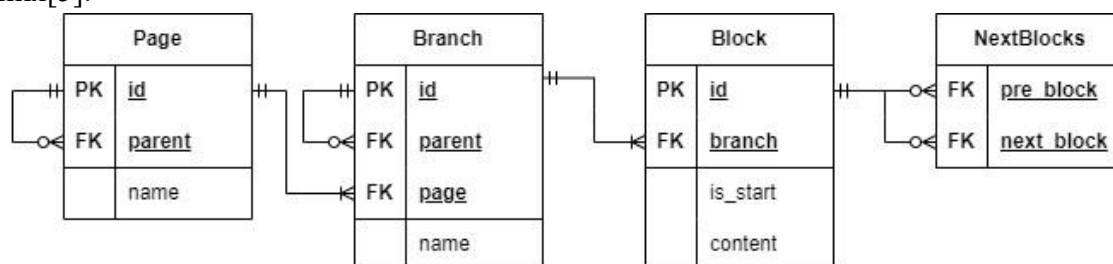


Рисунок 2 – ER-диаграмма, описывающая подход к хранению данных в БД

Атрибут `is_start` сущности `Block` хранит логическую переменную, которая указывает является ли Блок началом Линии или нет.

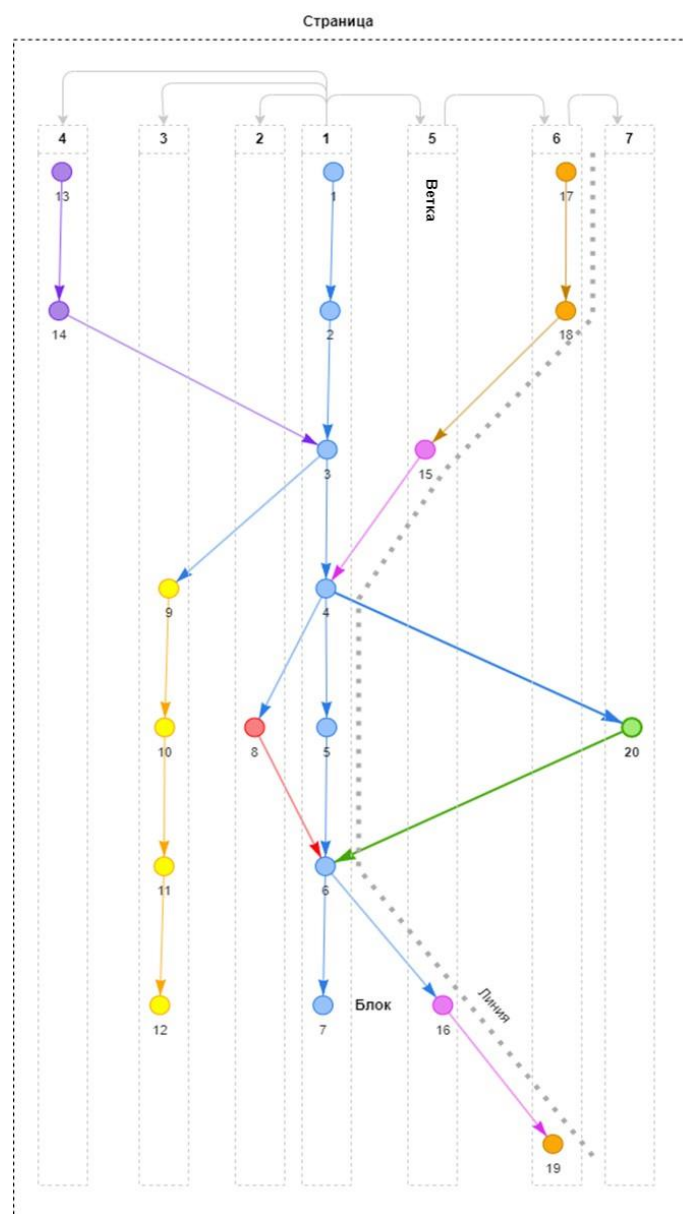


Рисунок 3 – Пример хранения Блоков в виде графа

Такой подход позволяет для каждой дочерней Ветки хранить в основном те Блоки, которые отличаются от родительской.

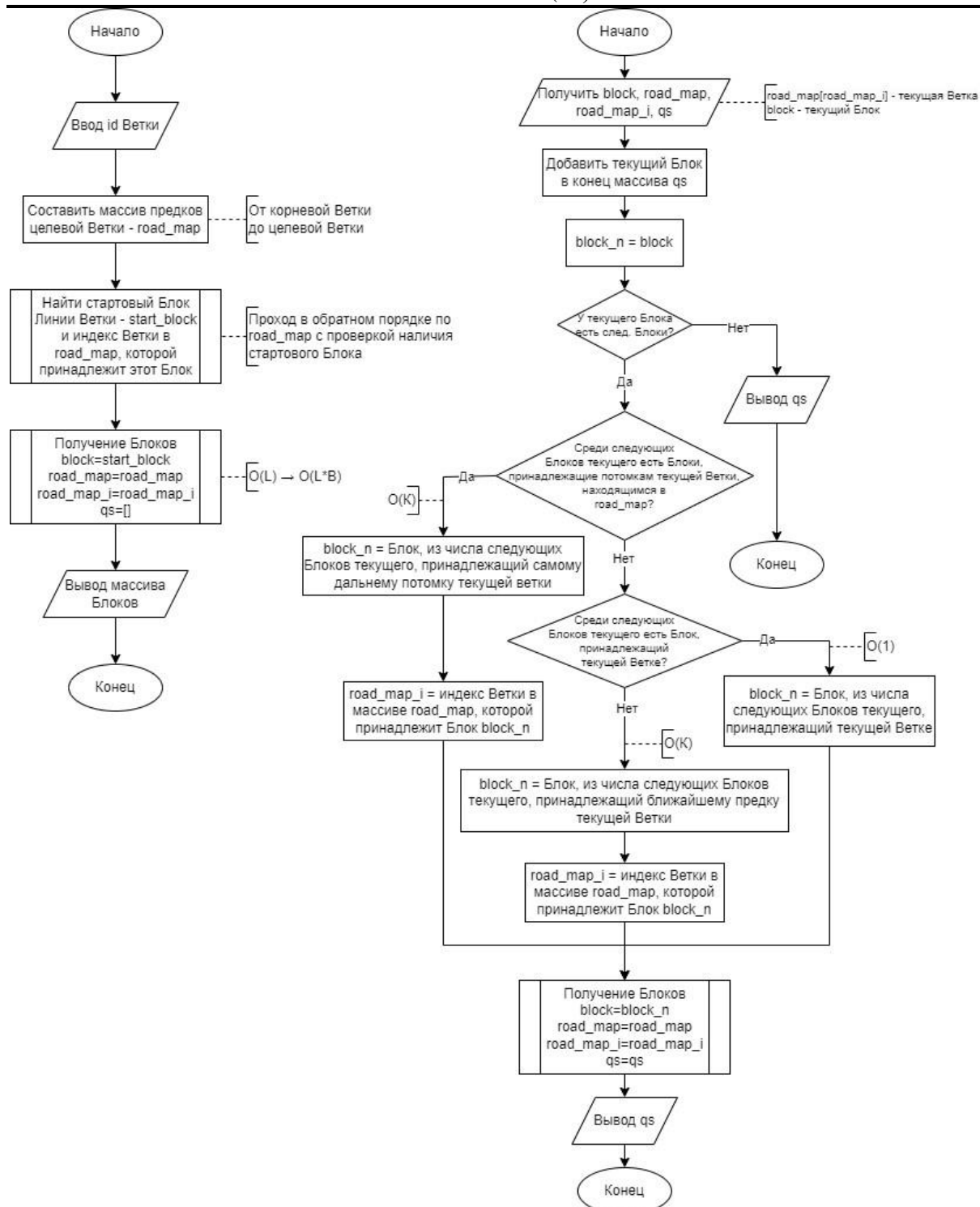


Рисунок 4 – Блок-схема алгоритма чтения Ветки

Немаловажным понятием в рамках данной реализации является понятие Линии. Линия – это массив Блоков, построенный в соответствии со связями в графе Блоков Страницы и иерархией Веток Страницы. Линия является результатом чтения Ветки.

Такой подход также позволяет, внося изменения в одну Линию (версию), изменять сразу несколько других Линий, к примеру изменение контента в Блоке 3 Ветки 1 будет сразу же отображаться во всех Линиях, в которые входит Блок 3 (Ветки 1-4) (Рисунок 3).

Алгоритм чтения Ветки создает массив Блоков Линии Ветки, рекурсивно проходя по связям между Блоками в соответствии с составленной картой Веток. В случае «развилки», то есть когда у текущего Блока есть несколько следующих Блоков с разных Ветках, следующий Блок выбирается согласно «карте». Подробнее алгоритм чтения Ветки описан в блок-схемах Рисунка 4.

Временная сложность алгоритма чтения Ветки при оценке сверху в наихудшем случае (рисунок 5) может быть рассчитана по формуле 1:

$$O(K * L) = O(B^2) = O(n^2), \quad (1)$$

где  $K$  – поколение Ветки;

$L$  – количество Блоков в Линии;

$B$  – общее количество Блоков Страницы.

Наихудшим случаем для алгоритма чтения Ветки является ситуация, когда поколение Ветки равно общему количеству Блоков на Странице, то есть каждая Ветка состоит всего из одного Блока:

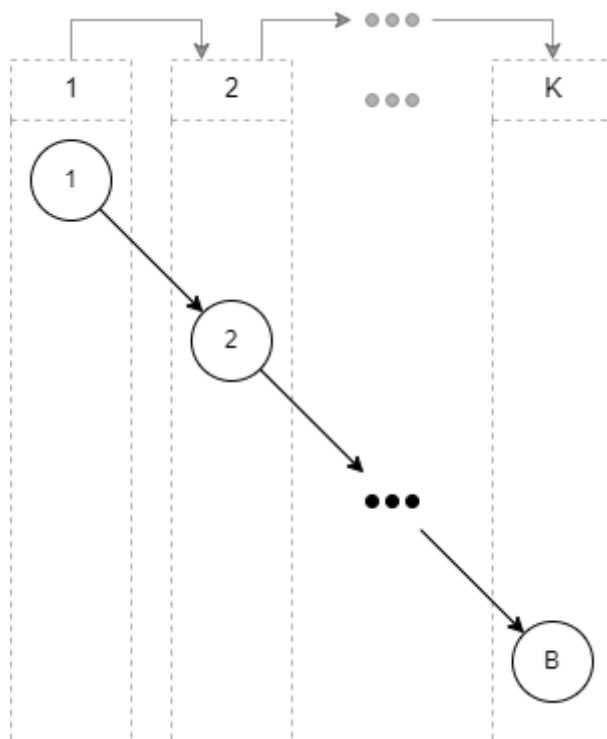


Рисунок 5 – Наихудший случай для алгоритма чтения Ветки

Основная временная сложность алгоритма создания Блока заключается во вставке Блока в массив (список) по индексу. Следовательно, сложность алгоритма создания Блока на Ветке (вставка Блока в Линию (Рисунок 6)) линейна, однако для работы алгоритма необходимо сначала получить Линию Ветки[6]. Следовательно, сложность алгоритма с учетом предварительного чтения Ветки возрастает до квадратичной.

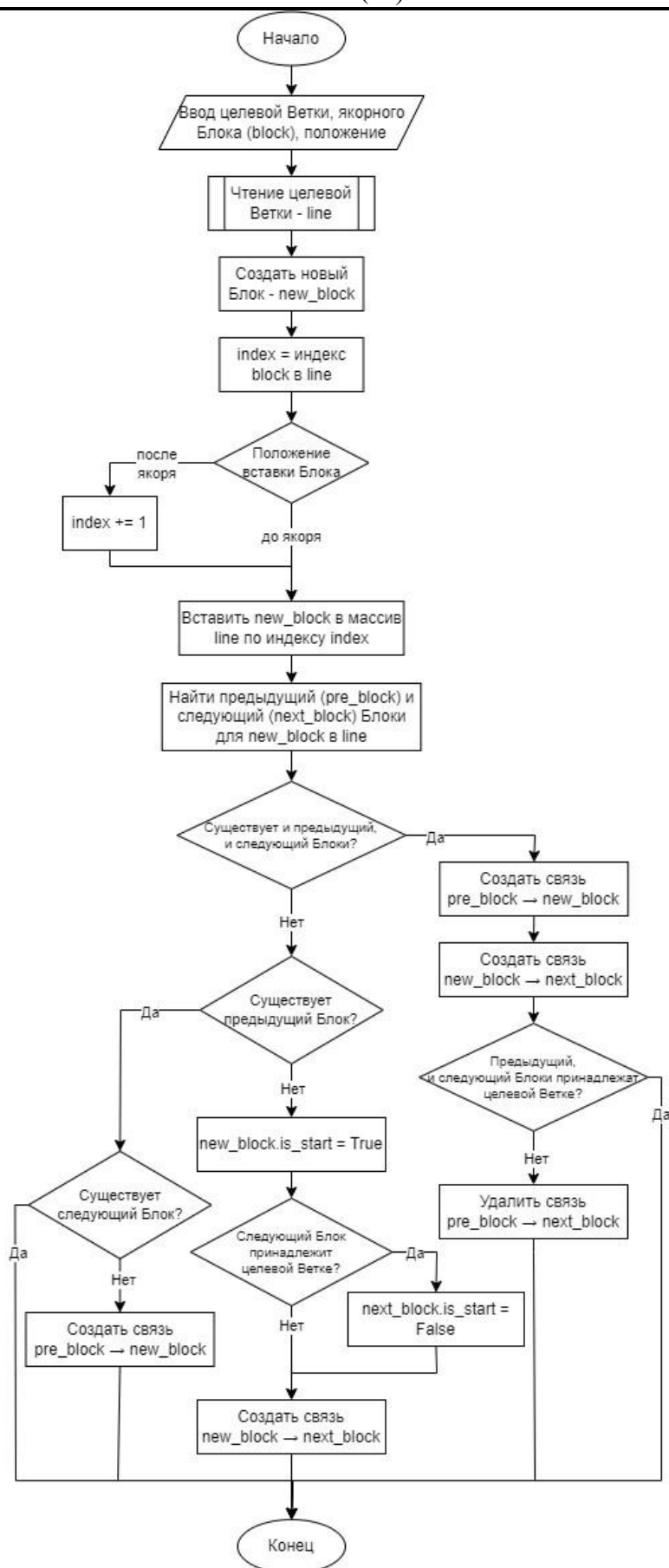


Рисунок 6 – Блок-схема алгоритма создания Блока на Ветке

К обновлению Блока относится как обновление контента в самом Блоке, так и перемещение Блока по Линии Ветки.

Если обновляется контент Блока для Ветки, которой он принадлежит изначально, то обновление сводится к простому обновлению одной записи в базе данных. Сложность такой операции константна[7]. Если же обновление контента Блока происходит для Ветки, которой он не принадлежит, но в чьей Линии находится, то для Ветки создается новый Блок и соответствующие связи (Рисунок 9). Для такого случая существует два наихудших взаимоисключающих сценария расположения Блоков в графе – Рисунки 7 и 8. Оба эти сценария имеют квадратичную сложность.

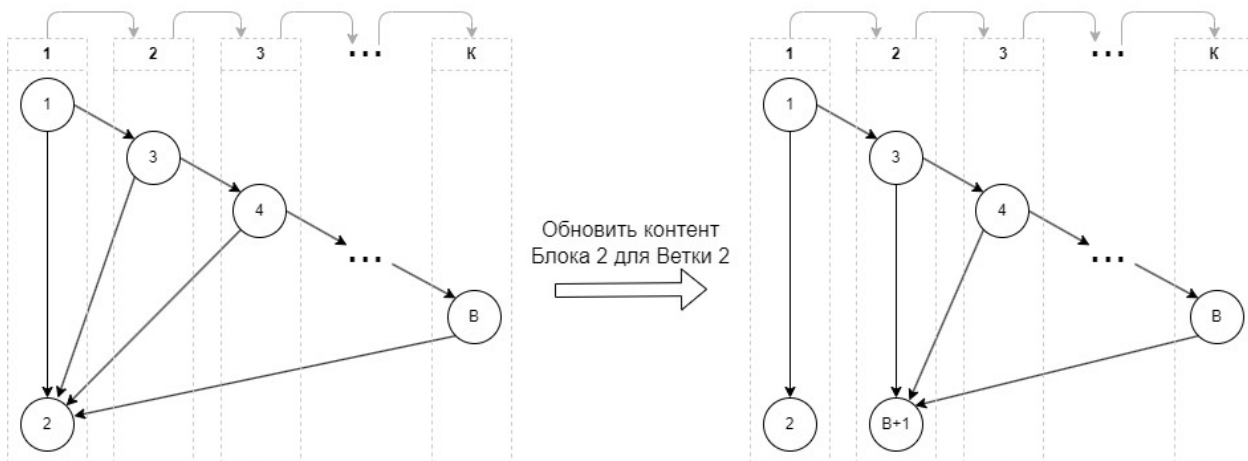


Рисунок 7 – Наихудший случай 1 для операции обновления контента Блока

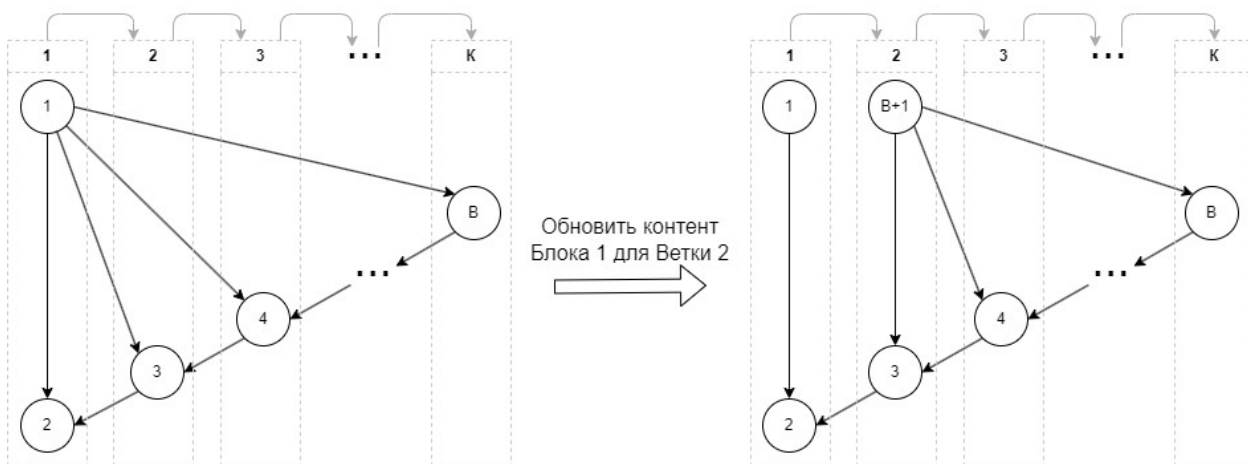


Рисунок 8 – Наихудший случай 2 для операции обновления контента Блока

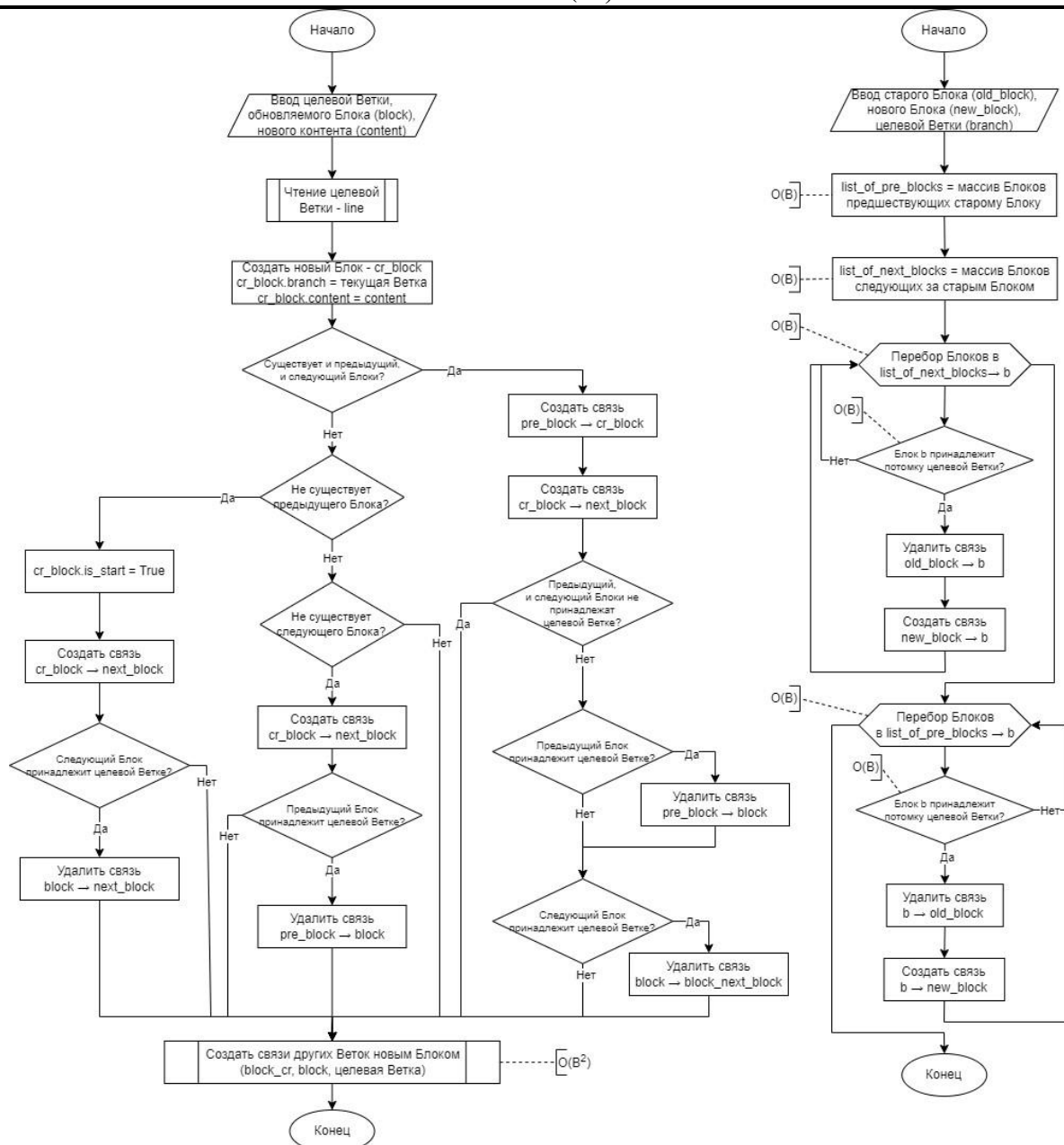


Рисунок 9 – Блок-схемы алгоритма Обновления контента Блока, не принадлежащего целевой Ветке

Операция перемещения Блока может быть реализована совмещением алгоритмов удаления (вырезания) Блока и создания (вставки) Блока на новое место. Временная сложность такого алгоритма будет кубической из-за повышенной сложности операции вырезания.

На Рисунках 10-11 представлены блок-схемы алгоритмов удаления и вырезания Блока. В данной реализации удаление Блока может приводить, как к уменьшению, так и к увеличению общего числа Блоков.



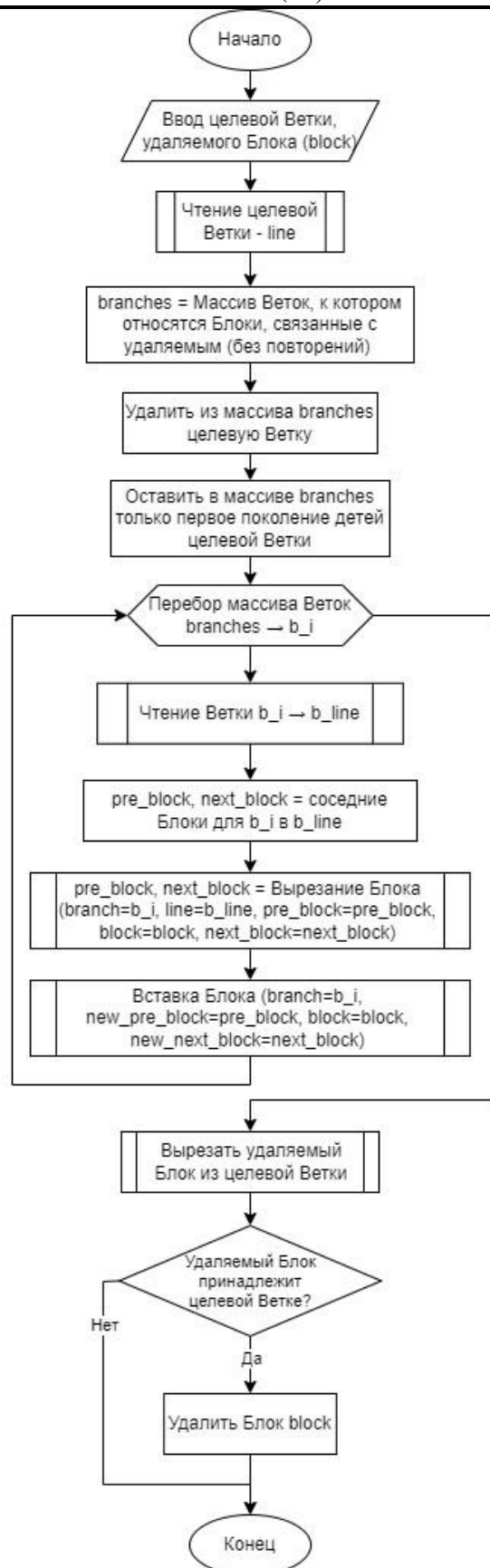


Рисунок 10 – Блок-схема алгоритма удаления Блока

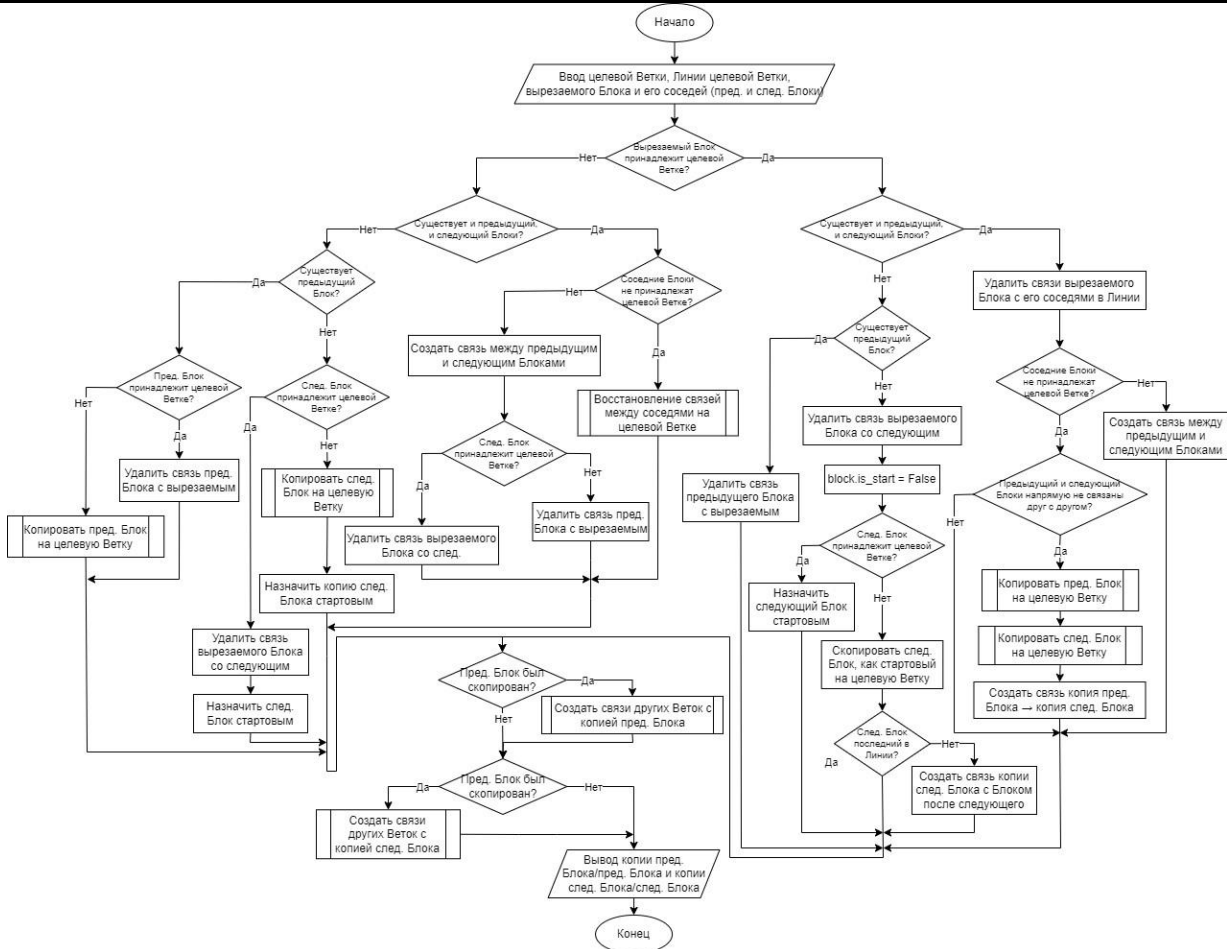


Рисунок 11 – Блок-схема алгоритма вырезания Блока

Одним из крайних наихудших случаев для алгоритма удаления Блока является случай, когда все Блоки для удаляемого являются предшествующими и имеют с ним прямую связь. При этом все связанные с удаляемым Блоки находятся на разных Ветках, которые расположены на одном уровне дерева Ветвей (Рисунок 12). Для такого случая временная сложность составляет  $O(n^3)$ .

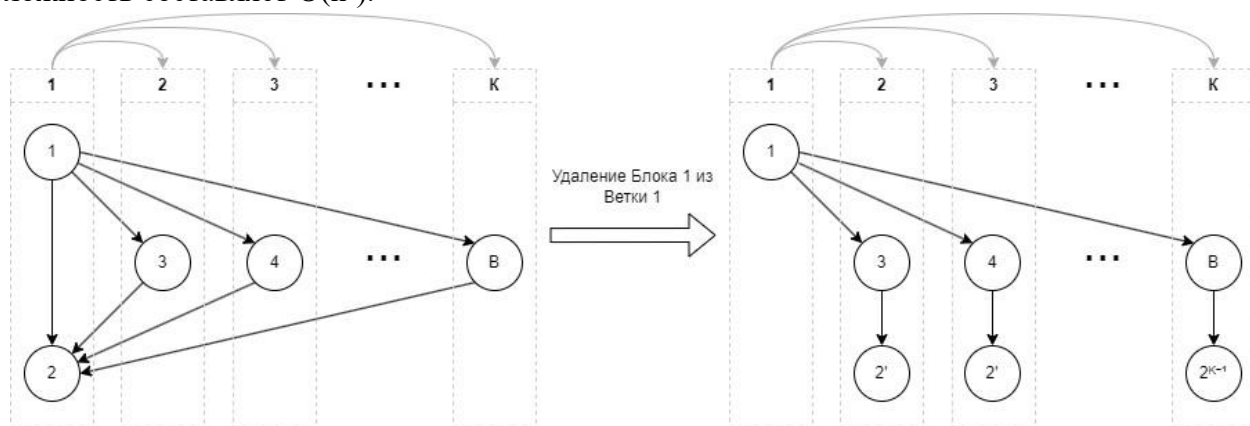


Рисунок 12 – Наихудший случай для алгоритма удаления Блока

Операция слияния (merge) (Рисунок 13) Веток происходит между двумя Ветками: первая (целевая), в которую происходит вливание новых Блоков, вторая (сливаемая) – Ветка-потомок первой чьи Блоки встраиваются в целевую. Целевая Ветка всегда должна быть предком

сливаемой Ветки, при этом если целевая и сливаемая Ветки разделены несколькими поколениями, то все промежуточные Ветки также вливаются в целевую.

Наихудший случай для алгоритма слияния веток совпадает с наихудшим случаем для алгоритма чтения Ветки при условии слияния Ветки 1 с Веткой К. Сложность алгоритма в таком случае является кубической.

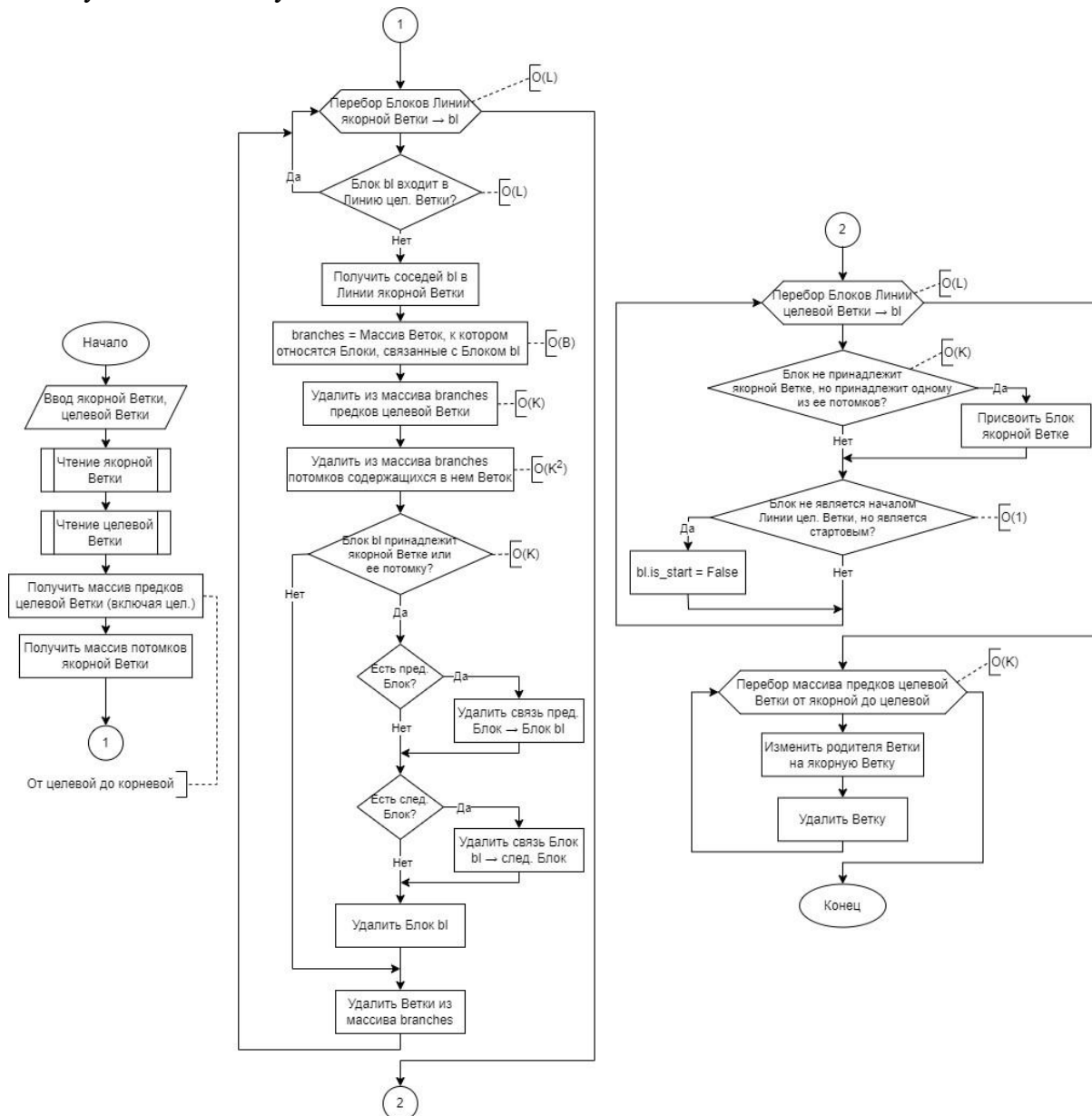


Рисунок 13 – Блок-схема алгоритма Слияния Веток

## Заключение

В данной работе предложен один из возможных способов решения задачи реализации версии в РСУБД с использованием трех взаимосвязанных сущностей и древовидно-графовой структуры хранения данных.

С учетом ограничений, введенных условиями задачи и контекста проекта в рамках, которого была поставлена данная задача, описанный подход является наиболее эффективным с точки зрения объема хранимой информации и минимизации дублирования данных, однако временная сложность алгоритмов обработки данных при этом подходе является достаточно







Международный журнал информационных технологий и  
энергоэффективности

Сайт журнала:

<http://www.openaccessscience.ru/index.php/ijcse/>



УДК 004.65

## ОБЗОР ЭКОСИСТЕМЫ HADOOP В ОБЛАСТИ БОЛЬШИХ ДАННЫХ

Талип А.К.

*КАЗАХСТАНСКО-БРИТАНСКИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ, Алматы, Казахстан, (50000, Казахстан, Алматы, ул. Толе би, 59), e-mail: talipaltynai00@gmail.com*

Данные всегда были ключевым элементом общества, экспоненциально растущим на протяжении веков и представляющим вызовы для каждой системы, с которой они сталкиваются. Возможность быстро обрабатывать и манипулировать данными открывает множество возможностей для инноваций и прогресса. "Большие данные" - термин, который широко обсуждается, но что на самом деле означает этот термин? Как он переосмысливает перспективы в различных областях, от научных исследований до операций компаний, некоммерческих организаций, правительств и других учреждений? Откуда берутся эти данные, как они обрабатываются, и как результаты сохраняются и используются для будущих начинаний? И почему открытые технологии так важны для решения этих вопросов? В этой статье мы собираемся ответить на все эти вопросы, чтобы прояснить, что на самом деле означают "большие данные" и как они влияют на нашу повседневную жизнь. Экосистема Hadoop выступает ведущим решением для обработки и анализа огромных объемов данных. Она включает в себя набор инструментов с открытым исходным кодом, разработанных для решения основных проблем больших данных: объема, скорости и разнообразия. В основе Hadoop лежит распределенная система обработки данных, известная как Apache MapReduce, которая разбивает вычислительные задачи на фазы отображения и сведения, облегчая параллельную обработку на нескольких узлах кластера. Этот распределенный подход существенно повышает производительность анализа больших данных за счет использования мощности параллельных вычислений. Тем не менее, несмотря на свои преимущества, экосистема Hadoop также сталкивается с определенными проблемами.

Ключевые слова: большие данные, Hadoop, HDFS, MapReduce, Экосистема Hadoop, NameNode, DataNode, YARN.

## OVERVIEW OF THE HADOOP ECOSYSTEM IN BIG DATA

Talip A.K.

*KAZAKH-BRITISH TECHNICAL UNIVERSITY, Almaty, Kazakhstan (50000, Kazakhstan, Almaty, st. Tole bi 59), e-mail: talipaltynai00@gmail.com*

Data has always been a crucial element of society, exponentially growing over centuries and presenting challenges to every system it encounters. The ability to rapidly process and manipulate data opens up numerous opportunities for innovation and progress. "Big data" is a term widely discussed, but what does it actually mean? How does it reshape perspectives in various fields, from scientific research to corporate operations, non-profit organizations, governments, and other institutions? Where do these data come from, how are they processed, and how are the results stored and utilized for future endeavors? And why are open technologies so important in addressing these questions? In this article, we aim to answer all these questions to clarify what "big data" really means and how they affect our everyday lives. The Hadoop ecosystem emerges as a leading solution for processing and analyzing vast volumes of data. It encompasses a set of open-source tools designed to address the fundamental challenges of big data: volume, velocity, and variety. At the core of Hadoop lies a distributed data processing system known as Apache MapReduce, which breaks down computational tasks into mapping and reducing phases, facilitating parallel processing across multiple nodes in a cluster. This distributed approach significantly enhances the performance of big data analytics by leveraging the power of parallel computing. However, despite its advantages, the Hadoop ecosystem also faces certain challenges.

Keywords: Big Data, Hadoop, HDFS (Hadoop Distributed File System), MapReduce, Hadoop Ecosystem, NameNode, DataNode, YARN.

## Introduction

In the realm of modern technology, where data has become the lifeblood of innovation and progress, the Hadoop ecosystem stands as a titan among frameworks, offering a comprehensive solution to the challenges posed by Big Data. As organizations grapple with the ever-increasing volumes, varieties, and velocities of data, Hadoop emerges as a beacon of hope, providing a robust infrastructure for storage, processing, and analysis on an unprecedented scale. The Hadoop ecosystem, with its diverse array of tools and components, represents a paradigm shift in how we approach data management and analytics. From the foundational Hadoop Distributed File System (HDFS) to the versatile processing capabilities of MapReduce and beyond, each component plays a vital role in harnessing the power of Big Data.

Normally [1] the data size is like MB, GB for example considering a video which a few GB may 1GB, 2 GB or 5Gb or it can be some GB. An audio file which is 1000 x 1000 x 1000 terabyte, So in social media everyone shares picture, posts, audio file, video file etc. so it is certainly a large amount of data so this is what a big data is. Examples [2] of big data usage are almost as varied as the data itself. Some prominent examples you're probably already familiar with include: social media networks analyzing their members' data to learn more about them and connect them with content and advertising relevant to their interests, or search engines looking at the relationship between queries and results to give better answers to users' questions.

The internet continues to expand as users find new ways to access information. With the advent of social media, individuals increasingly depend on the internet to fulfill their daily data requirements. In 2020, users generated a staggering 64.2 zettabytes (ZB) of data, surpassing the total number of observable stars in the universe. Projections indicate that data creation will escalate further, reaching an estimated 147 ZB by the conclusion of 2024. In this paper, we embark on a journey through the Hadoop ecosystem, exploring its key components, functionalities, and real-world applications. From understanding the core principles behind Hadoop's design to unraveling the intricacies of its various modules, our aim is to provide a comprehensive overview that equips readers with the knowledge needed to navigate the complexities of Big Data with confidence and proficiency. Join us as we delve into the heart of the Hadoop ecosystem and uncover the transformative potential it holds for the future of data-driven decision-making.

## Hadoop Ecosystem

The Hadoop ecosystem is a cohesive assembly of open-source software tools, frameworks, and libraries meticulously crafted to synergize with Apache Hadoop, an adept framework for distributed storage and processing. This comprehensive ecosystem not only supplements the fundamental capabilities of Hadoop but also furnishes an array of solutions tailored for managing, processing, and analyzing data on a grand scale. Below will be several of the most 4 popular components.

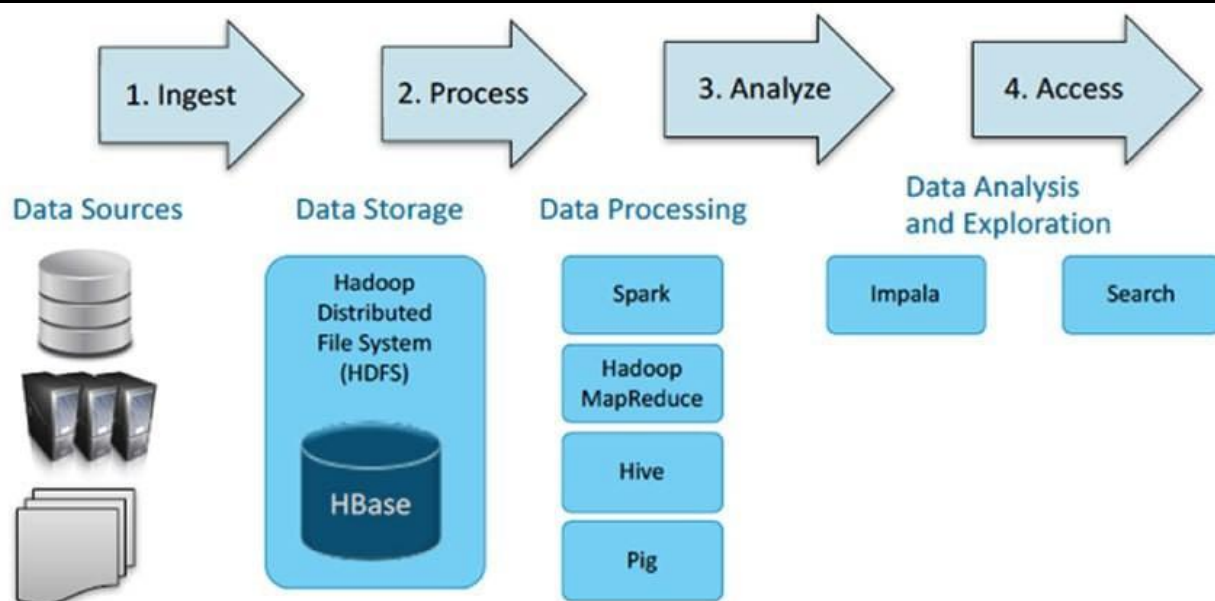


Figure 1 – Hadoop Ecosystem

### Big Data

So, what exactly is “Big data”. Put in simple words, it is both structured and unstructured. Generally, it is so gigantic that it provides a challenge to process using conventional database and software techniques. [3]

In the realm of Big Data, there are typically two main layers of data: Data Storage Layer: The Data Storage Layer is where enormous amounts of data are kept. It's like a giant warehouse where data is stored across multiple locations, such as Hadoop Distributed File System (HDFS), Amazon S3, Google Cloud Storage, and similar platforms. This layer ensures that the data is stored securely and can be easily accessed for further analysis and processing.

Normally the data size is like MB, GB for example considering a video which a few GB may 1GB, 2 GB or 5Gb or it can be some GB. An audio file which is 1000 x 1000 x 1000 terabyte, So in social media everyone shares picture, posts, audio file, video file etc. so it is certainly a large amount of data so this is what a big data is. [4] Data Processing Layer: At this stage, data undergoes analysis, processing, and transformation using different tools like Apache Spark, Apache Hadoop MapReduce, Apache Flink, and similar technologies. This is where valuable insights are extracted from vast amounts of data, and various tasks like combining data, selecting specific data, changing its form, and even teaching computers to learn patterns (machine learning) are carried out.

### Hadoop Distributed File System

Hadoop Distributed File System (HDFS) splits the large data files into parts which are managed by different machines in the cluster. Each part is replicated across many machines in a cluster, so that if there is a single machine failure it does not result in data being unavailable. [5] Every 3 seconds, a Datanode sends a signal called a Heartbeat to the Namenode to signal its status as alive. If no Heartbeat is received for a duration of 10 minutes, a 'Heartbeat Lost' condition occurs, and the respective DataNode is considered to be inactive or unavailable.

### MapReduce

One of the best-known methods for turning raw data into useful information is what is known as MapReduce. MapReduce is a method for taking a large data set and



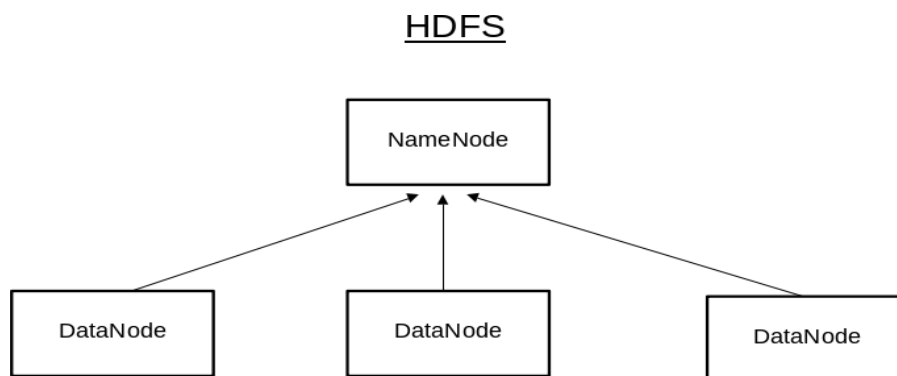


Figure 2 – Hadoop in System Design

performing computations on it across multiple computers, in parallel. It serves as a model for how to program and is often used to refer to the actual implementation of this model. [2] MapReduce is programming model or a software framework used in Apache Hadoop. Hadoop MapReduce is provided for writing applications which process and analyze large data sets in parallel on large multinode clusters of commodity hardware in a scalable, reliable and fault tolerant manner. Data analysis and processing uses two different steps namely, Map phase and Reduce phase [6]

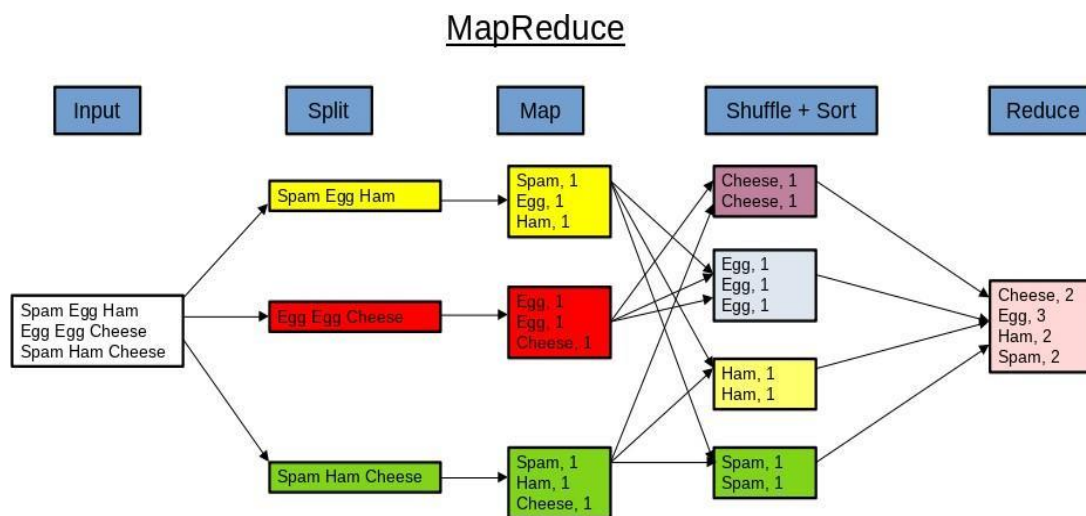


Figure 3 – MapReduce scheme

The input data is initially divided into smaller chunks. These chunks are then processed concurrently by map tasks. After processing, the data chunks are sorted and labeled with occurrence numbers. During the reduce task, aggregation occurs, and the final output is generated. [6]

#### Yet Another Resource Negotiator (YARN)

YARN's basic idea is to split up the two major functionalities of the JobTracker, resource management and job scheduling into separate daemons. The idea is to have a global ResourceManager and per-application ApplicationMaster. The ResourceManager arbitrates resources among all the applications in the system and it has two components: Scheduler and Applications Manager. [7] The sequence of steps is as follows:

After clients submit MapReduce jobs, they are forwarded to the Resource Manager.

The Resource Manager handles resource allocation and management. It assigns a Container, containing physical resources like CPU and RAM, to initiate the Application Manager.

The Application Manager registers with the Resource

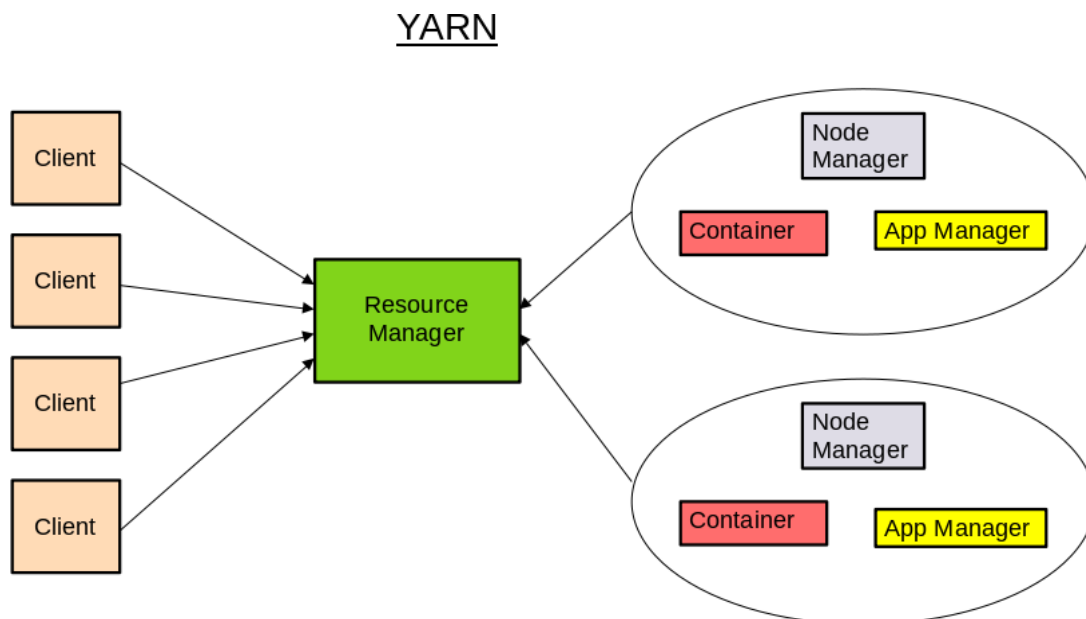


Figure 4 – The workflow of YARN

Manager and requests containers from the Node Manager, which oversees nodes and monitors resource usage.

The Container executes the application code.

Upon completion of processing, the Application Manager deregisters from the Resource Manager.

YARN is a core Hadoop service that supports two major services: –Global resource management (ResourceManager) –Per-application management (ApplicationMaster). It offers advantages such as optimized resource utilization, high scalability, support for various programming languages beyond Java, innovative programming models and services, and flexibility. [8]

#### Future works and Discussion

Future works and ongoing discussions surrounding the target architecture of the Hadoop ecosystem for solving problems in the big data paradigm are centered on addressing emerging challenges and exploring new opportunities. Here are some areas of focus for future work and discussion:

**Scaling and Performance Optimization:** As big data continues to grow exponentially, efforts are being made to enhance the scalability and performance of the Hadoop ecosystem. This includes optimizing resource management, reducing data transfer overhead, and exploring new parallel processing techniques.

**Real-time and Stream Processing:** The demand for real-time analytics and stream processing has increased significantly. Future work is geared towards integrating real-time processing capabilities into the Hadoop ecosystem. Technologies like Apache Kafka and Apache Storm are being explored to enable efficient and low-latency stream processing.

**Data Privacy and Security:** With the increasing concerns surrounding data privacy and security, there is ongoing research and discussion on enhancing the security features of the Hadoop ecosystem. This includes strengthening authentication mechanisms, encryption techniques, access control, and auditing capabilities. Additionally, efforts are being made to integrate privacy-preserving techniques into data processing frameworks to protect sensitive data while enabling meaningful analysis.

**Advanced Analytics and Machine Learning:** The integration of advanced analytics and machine learning capabilities within the Hadoop ecosystem is an area of active exploration. Researchers and practitioners are working on integrating popular machine learning frameworks (e.g., TensorFlow, PyTorch) and developing scalable algorithms that can take advantage of the distributed computing capabilities of Hadoop.

**Data Governance and Compliance:** Future work is focusing on improving data governance capabilities within the Hadoop ecosystem. This involves establishing better metadata management, data lineage, and data quality mechanisms. Additionally, efforts are being made to ensure compliance with data protection regulations (e.g., GDPR, CCPA) and developing tools that facilitate regulatory compliance in big data environments.

**Integration with Cloud and Hybrid Environments:** Integration of the Hadoop ecosystem with cloud and hybrid environments is gaining prominence. Discussions revolve around leveraging cloud-native services, containerization (e.g., Docker, Kubernetes), and serverless computing (e.g., AWS Lambda, Azure Functions) to enhance the deployment, scalability, and flexibility of Hadoop in cloud and hybrid infrastructures.

**Simplification of Development and Management:** Future work aims to simplify the development and management of Hadoop applications. This includes developing higher-level abstractions, improving tooling support, and streamlining the development lifecycle. Initiatives such as Apache Ambari and Cloudera Manager focus on providing user-friendly interfaces for managing Hadoop clusters, monitoring performance, and optimizing resource utilization.

Through ongoing research, experimentation, and discussions in these areas, the target architecture of the Hadoop ecosystem will continue to evolve, enabling organizations to effectively tackle the challenges of the big data paradigm and extract actionable insights from their data assets.

#### Conclusion

The Hadoop ecosystem's architecture is designed to handle the challenges of big data. It provides a scalable and distributed framework for efficient processing, storage, and analysis of large amounts of data.

The key components of the Hadoop ecosystem are the Hadoop Distributed File System (HDFS) and MapReduce. HDFS allows data to be stored across multiple nodes, ensuring high availability and reliability. MapReduce enables parallel and distributed processing of data, making it suitable for large-scale workloads.

The ecosystem also includes tools like Apache Hive and Apache Spark, which extend its capabilities for querying, analysis, and machine learning tasks.

The target architecture of the Hadoop ecosystem is flexible and extensible, allowing integration with other tools and technologies. This flexibility enables organizations to customize solutions and leverage a wide range of applications and libraries within the ecosystem.

In summary, the Hadoop ecosystem's architecture provides scalability, fault tolerance, and distributed processing capabilities to handle big data challenges. It empowers organizations to extract insights and value from their data assets effectively.

### Список литературы

1. М. Гупта, Ф. Патва и Р. Сандху, “Модель управления доступом на основе атрибутов для безопасной обработки больших данных в экосистеме hadoop”, в материалах Третьего семинара АСМ по управлению доступом на основе атрибутов, 2018, С. 13-24.
2. opensource.com, “Ресурсы больших данных о opensource.com,” <https://opensource.com/resources/big-data>, текущий год, дата обращения: 27 апреля 2024 года.
3. П.П.Шарма и К.П.Навдети, “Защита больших данных в hadoop: обзор проблем безопасности, угроз и решений”, Международный компьютерный журнал. Научно-технический журнал. Технология, том 5, № 2, С. 2126-2131, 2014.
4. С. А. Ханнан, “Обзор больших данных и hadoop”, Международный журнал компьютерных приложений, том 154, № 10, 2016.
5. П. С. Хоннутаги, “Распределенная файловая система hadoop”, Международный журнал компьютерных наук и информационных технологий (IJCSIT), том 5, № 5, С. 6238-6243, 2014.
6. М. Р. Гази и Д. Гангодкар, “Hadoop, mapreduce и hdfs: взгляд разработчиков”, Procedia Computer Science, том 48, С. 45-50, 2015.
7. А. П. Кулкарни и М. Хандевал, “Обзор hadoop и введение в yarn”, 2014.
8. С. Мехта и В. Мехта, “Экосистема Hadoop: введение”, Международный журнал науки и исследований (IJSR), том 5, № 6, С. 557-562, 2016.

### References

1. M. Gupta, F. Patwa, and R. Sandhu, “An attribute-based access control model for secure big data processing in hadoop ecosystem,” in Proceedings of the Third ACM Workshop on Attribute-Based Access Control, 2018, pp. 13–24.
  2. opensource.com, “Big data resources on opensource.com,” <https://opensource.com/resources/big-data>, current year, accessed: April 27, 2024.
  3. P. P. Sharma and C. P. Navdeti, “Securing big data hadoop: a review of security issues, threats and solution,” Int. J. Comput. Sci. Inf. Technol, vol. 5, no. 2, pp. 2126–2131, 2014.
  4. S. A. Hannan, “An overview on big data and hadoop,” International Journal of Computer Applications, vol. 154, no. 10, 2016.
  5. P. S. Honnutagi, “The hadoop distributed file system,” International Journal of Computer Science and Information Technologies (IJCSIT), vol. 5, no. 5, pp. 6238–6243, 2014.
  6. M. R. Ghazi and D. Gangodkar, “Hadoop, mapreduce and hdfs: a developers perspective,” Procedia Computer Science, vol. 48, pp. 45–50, 2015.
  7. A. P. Kulkarni and M. Khandewal, “Survey on hadoop and introduction to yarn.” 2014.
  8. S. Mehta and V. Mehta, “Hadoop ecosystem: An introduction,” International Journal of Science and Research (IJSR), vol. 5, no. 6, pp. 557–562, 2016.
-



Международный журнал информационных технологий и  
энергоэффективности

Сайт журнала:

<http://www.openaccessscience.ru/index.php/ijcse/>



УДК 004.056

## КОНЦЕПТУАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ ПОДХОДОВ И ПРОГРАММНЫХ ИНСТРУМЕНТОВ ОБЕСПЕЧЕНИЯ КИБЕРБЕЗОПАСНОСТИ

**Басова А.Н.**

ФГАОУ ВО "НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, МЕХАНИКИ И ОПТИКИ (ИТМО)", Санкт-Петербург, Россия (197101, город Санкт-Петербург, Кронверкский пр-кт, д. 49 литер а) e-mail: [nasty74.01@mail.ru](mailto:nasty74.01@mail.ru)

В статье приводится категориальный анализ современных, применяемых в отечественных коммерческих компаниях, концептуальных подходов к формированию стратегической концепции кибербезопасности и разработке структуры систем кибербезопасности с учетом соответствия данных подходов друг другу и используемым в компании программным инструментам защиты. Результатом работы является система иерархическая категоризация современных программных инструментов кибербезопасности и матрица соответствия концептуальных подходов, подходов к разработке структур систем кибербезопасности и категорий программных инструментов друг другу.

Ключевые слова: Информационная безопасность, кибербезопасность, программные инструменты, цифровая трансформация, сравнительный анализ, концептуальные подходы, матрица соответствия.

## CONCEPTUAL ANALYSIS OF MODERN APPROACHES AND SOFTWARE TOOLS FOR CYBERSECURITY

**Basova A.N.**

NATIONAL RESEARCH UNIVERSITY OF INFORMATION TECHNOLOGIES, MECHANICS AND OPTICS (ITMO), St. Petersburg, Russia (197101, St. Petersburg, Kronverkskiy pr-kt, 49, lit. a), e-mail: [nasty74.01@mail.ru](mailto:nasty74.01@mail.ru)

The article provides a categorical analysis of modern conceptual approaches used in domestic commercial companies to form a strategic concept of cybersecurity and develop the structure of cybersecurity systems, taking into account the correspondence of these approaches to each other and the security software tools used in the company. The result of the work is a system of hierarchical categorization of modern cybersecurity software tools and a matrix of correspondence of conceptual approaches, approaches to the development of cybersecurity system structures and categories of software tools to each other.

Keywords: Information security, cybersecurity, software tools, digital transformation, comparative analysis, conceptual approaches, compliance matrix.

### Введение

Начиная, с 2020 г. отечественная сфера кибербезопасности начала развиваться ускоренными темпами: начали появляются новые программные инструменты, подходы, что связано с такими факторами как: массовая цифровизация и цифровая трансформация отечественных компаний [9, с. 166], сопровождающаяся появлением новых точек уязвимостей в информационных системах предприятий и усложнением ИТ-архитектуры предприятий [11, С. 34-36]; санкционный режим функционирования и последующие процессы массового технологического импортозамещения на фоне прекращения поддержки и сопровождения ряда

ПО, включая ПО в сфере кибербезопасности [12, с. 217]; увеличение количества и уровня организации кибератак [10, с. 36][4, с.150]; государственная поддержка разработок в сфере цифровых технологий [6, с.507]. Так, в начале 2024 г. рост рынка информационной безопасности составил 30-40%, при этом крупнейшие отечественные вендоры (Сбербанк, Kasperski) заявили о формировании качественно новых подходов к разработке инструментов киберзащиты.

На фоне быстрого развития и расширения применяемых подходов и инструментов [3, с.387], а также быстро меняющегося законодательства в сфере кибербезопасности отечественные компании ставят своей целью обеспечение сплошной киберзащиты с применением наиболее современных технологий (с применением ИИ на основе машинного обучения) [2, с.28], что с учетом нехватки оборудования, специалистов и превышением спроса над предложением значительно превышает бюджеты по информационной безопасности компаний. Так, за последние 5 лет отмечается двукратное увеличение расходов на кибербезопасность на отечественных предприятиях, при этом по данным исследования ГК InfoWatch в 2023 г. на 2% больше респондентов (48%) говорили о недостатке финансирования в сферу информационной безопасности на предприятиях.

Однако, сплошная защита это лишь один из концептуальных подходов и, следовательно, при применении не соответствующих инструментов она может быть неэффективной [8, с.193][7, с.142], что чаще всего связано с внедрения инструментов с дублированием функций и неконтролируемым увеличением сложности структуры киберсистем из-за отсутствия учета модульного характера существующих программных инструментов.

Целью исследования является формирование типовых концептуальных решений для коммерческих компаний в сфере кибербезопасности на основе учета соответствия применяемых программных инструментов кибербезопасности принятым в компании концептуальным подходам к проектированию и разработке систем кибербезопасности.

#### Современные концептуальные подходы к разработке систем кибербезопасности

В современных условиях одиночные инструменты киберзащиты уже не в состоянии обеспечить минимально необходимый уровень кибербезопасности [5, с. 7], поэтому коммерческие компании стремятся создавать и развивать многоуровневые системы защиты, охватывающие такие сферы как: контроль доступа к информации, защита конфиденциальности, защита от целевых атак, вирусная защита и т.д. [1, с. 91-92] Разработка концепции и структуры таких систем требует наличия комплексных подходов. В отечественной практике большинство данных подходов только начинают внедряться и использоваться коммерческими предприятиями, тем не менее, на данный момент можно выделить 3 развивающихся концептуальных подхода к формированию систем кибербезопасности:

1) Подход, ориентированный на зрелость (Maturity-based approach) или подход сплошной защиты – наиболее распространенный подход, нацеленный на достижение определенного уровня зрелости информационной системы безопасности в целом. Вероятность возникновения рисков не учитывается, вместо этого закрывается наибольшее количество рисков. Главное преимущество – ускоренные темпы развития кибербезопасности на предприятии, комплексное снижение информационных рисков, недостаток – неуправляемый рост контроля, неэффективное использование ресурсов. Чаще всего используется молодыми

компаниями догоняющего типа, быстро наращивающими масштабы своей деятельности, а также крупными компаниями в случае резкого увеличения объемов киберугроз или законодательного повышения требований к информационной защищенности.

2) Риск - ориентированный подход (Risk-based approach) – молодой подход, набирающий популярность среди отечественных компаний, нацеленный на отбор и приоритезацию наиболее вероятных рисков, при этом наименее вероятные и опасные риски могут быть полностью проигнорированы. Преимущество – эффективное распределение ресурсов, недостаток – сложности просчета рисков. На данный момент активно применяется средними и крупными компаниями, однако в связи с увеличением сложности и скоординированности атак на киберсистемы становится все менее эффективным и требует методологического переосмысления.

3) Проактивный подход (Proactive approach) – самый молодой подход, находящийся на стадии формирования. Нацелен на трансформацию всей компании для внедрения передовых автоматических систем кибербезопасности и создание полноценной экосистемы для вовлечения всех участников бизнес- процессов: от сотрудников до клиентов и партнеров. Преимущество – обеспечение наивысшего уровня информационной безопасности, относительно низкие издержки на обслуживание, недостаток – необходимость реорганизации существующих процессов, дороговизна установки и настройки систем.

После выбора концептуального подхода выбирается подход к разработке структуры системы кибербезопасности. Углубленно их можно разбить на 4 подхода:

1) Классический / традиционный подход: при данном подходе система кибербезопасности представлены одним или несколькими центрами мониторинга информационной безопасности (Security Operation Center, SOC), содержащими применяемый в компании набор информационных продуктов, каждый из которых имеет свою собственную функцию и не пересекается по функционалу с другими продуктами в SOC. Преимущественно применяется малыми и средними компаниями за счет простоты реализации.

2) Экосистемный подход: является развитием классического подхода, в отличие от которого предполагает отсутствие автономности информационных продуктов в пользу формирования эффекта синергии. Все продукты при таком подходе интегрированы между собой на всех этапах функционирования системы при помощи решений класса SOAR (Security Orchestration, Automation and Response), которые позволяют собирать и обрабатывать данные из всех подключенных информационных продуктов, а также осуществлять автоматизированные сценарии реагирования на угрозы. Является наиболее распространенным подходом к кибербезопасности на крупных предприятиях.

3) Результативный подход: развивает экосистемный подход благодаря дополнительному созданию единого центра противодействия угрозам, занимающегося преимущественно мониторингом и реагированием на катастрофические угрозы (как правило, не более 5-7 на компанию), и применению тестовой платформы, либо использованию существующих тестовых платформ, для выявления новых рисков и сценариев (Bug Bounty). Является наиболее молодым подходом, находящимся на начальном этапе внедрения в наиболее информационно зрелых компаниях.

4) Усиленный результативный подход: включает в себя все элементы результативного подхода, но вместо мониторинга концентрируется на развитие инфраструктуры предприятия, нацеленном на сокращение площади атаки и удлинении пути

продвижения хакеров (например, отключение серверов, сокращение количества портов и т.д.). Считается более эффективным чем обычный результативный подход, но сопряжен с дополнительными рисками, например, риск создания новых уязвимостей, снижения информационной эффективности компании, появление новых багов и сбоев и т.д.

Выбор концептуального подхода к формированию системы киберзащиты зависит от потребностей и возможностей компании. Не менее важна интерпретации и понимание этого подхода руководством компании. На основе отобранного концептуального подхода формируются принципы и направления развития киберсистем, а также выбирается или создается новый подход к разработке. В зависимости от интерпретации в рамках одного концептуального подхода возможно применение разных подходов к разработке, однако не все они будут совместимыми, то есть они не всегда будут соответствовать задачам, поставленным в концептуальном подходе: Таблица 1. При неучете данной совместимости эффективность проводимых мероприятия может быть значительно снижена.

Таблица 1 – Матрица совместимости концептуальных подходов и подходов к разработке

Концептуальный подход	Совместимые подходы к разработке
Подход, ориентированный на зрелость	Классический / традиционный подход Экосистемный подход Результативный подход Усиленный результативный подход
Риск - ориентированный подход	Классический / традиционный подход Экосистемный подход Результативный подход
Проактивный подход	Результативный подход Усиленный результативный подход

#### Современные программные инструменты кибербезопасности

На основе выбранного подхода к разработке систем кибербезопасности формулируются функциональные требования и начинается отбор программных инструментов. Для системности отбора важно понимать возможности и основные выполняемые инструментами задачи [8, С. 104-105], для этого все категории инструменты можно разбить на классы в соответствии с их сферой защиты (какие типы устройств, соединений защищает данный инструмент), функциональностью / модульностью (сколько функций / подсистем включает в свой состав данный инструмент), степенью автоматизации (какие задачи инструмент может выполнять в автоматическом режиме), уровнем использования ИИ / сложностью решаемых задач (какие угрозы инструмент в состоянии предотвратить в автоматическом режиме).

В рамках данной статьи выделены следующие критерии разбивка инструментов по классам: Таблица 2.



Таблица 2 – Критерии разбиения программных инструментов киберзащиты по классам

Критерий	Значения критериев
Сфера защиты	Конечные точки Сетевой трафик / Сеть Корпоративная информационная система в целом
Функциональность	Оповещение об инциденте Распознавание угроз Распознавание атак Реагирование на угрозы Предотвращение атак Изучение угроз Предоставление рекомендаций по кибербезопасности Долгосрочное хранение данных об инцидентах Восстановление систем Тестирование систем
Степень автоматизации	Автоматическое оповещение Автоматическое реагирование на угрозы Автоматическое изучение угроз Автоматическое формирование сводного отчета по совокупности систем безопасности Автоматическое управление другими системами безопасности Автоматическое восстановление систем
Сложность решаемых задач	Обычные / типовые угрозы Сложные / скрытые угрозы Целевые атаки

На основе отобранных критериев можно выделить следующие укрупненные классы:

- 1) **Базовые инструменты защиты конечных точек**
  - а. Сфера защиты: конечные точки
  - б. Функциональность: оповещение, распознавание угроз, реагирование на угрозы
  - с. Степень автоматизации: оповещение, реагирование на угрозы
  - д. Сложность решаемых задач: обычные / типовые угрозы
- 2) **Продвинутое инструменты защиты конечных точек**
  - а. Сфера защиты: конечные точки
  - б. Функциональность: оповещение, распознавание, изучение угроз, реагирование на угрозы, долгосрочное хранение информации об инцидентах
  - с. Степень автоматизации: оповещение, реагирование на угрозы
  - д. Сложность решаемых задач: обычные / типовые, сложные угрозы

3) **Инструменты анализа сетевого потока**

- a. Сфера защиты: сетевой трафик
- b. Функциональность: оповещение, распознавание угроз
- c. Степень автоматизации: оповещение
- d. Сложность решаемых задач: обычные / типовые, сложные угрозы

4) **Инструменты анализа и реагирования на события в сетевом трафике**

- a. Сфера защиты: сетевой трафик
- b. Функциональность: оповещение, распознавание реагирование на угрозы, изучение угроз долгосрочное хранение информации об инцидентах
- c. Степень автоматизации: оповещение, реагирование на угрозы
- d. Сложность решаемых задач: обычные / типовые, сложные угрозы

5) **Инструменты комплексного учета и анализа событий**

- a. Сфера защиты: корпоративная информационная система
- b. Функциональность: оповещение, распознавание угроз, атак, изучение угроз, долгосрочное хранение данных об инцидентах
- c. Степень автоматизации: оповещение, изучение, формирование сводного отчета по совокупности систем безопасности, управление другими системами безопасности
- d. Сложность решаемых задач: обычные / типовые, сложные угрозы, целевые атаки

6) **Инструменты комплексного учета и реагирования**

- a. Сфера защиты: корпоративная информационная система
- b. Функциональность: оповещение, распознавание угроз, атак, изучение угроз, долгосрочное хранение данных об инцидентах, реагирование на угрозы
- c. Степень автоматизации: оповещение, изучение, формирование сводного отчета по совокупности систем безопасности, управление другими системами безопасности реагирование на угрозы
- d. Сложность решаемых задач: обычные / типовые, сложные угрозы, целевые атаки

7) **Инструменты проактивной защиты**

- a. Сфера защиты: корпоративная информационная система
- b. Функциональность: все перечисленное
- c. Степень автоматизации: все перечисленное
- d. Сложность решаемых задач: обычные / типовые, сложные угрозы, целевые атаки

Таким образом, все современные типы программных инструментов защиты можно распределить по данным категориям: Рисунок 1.

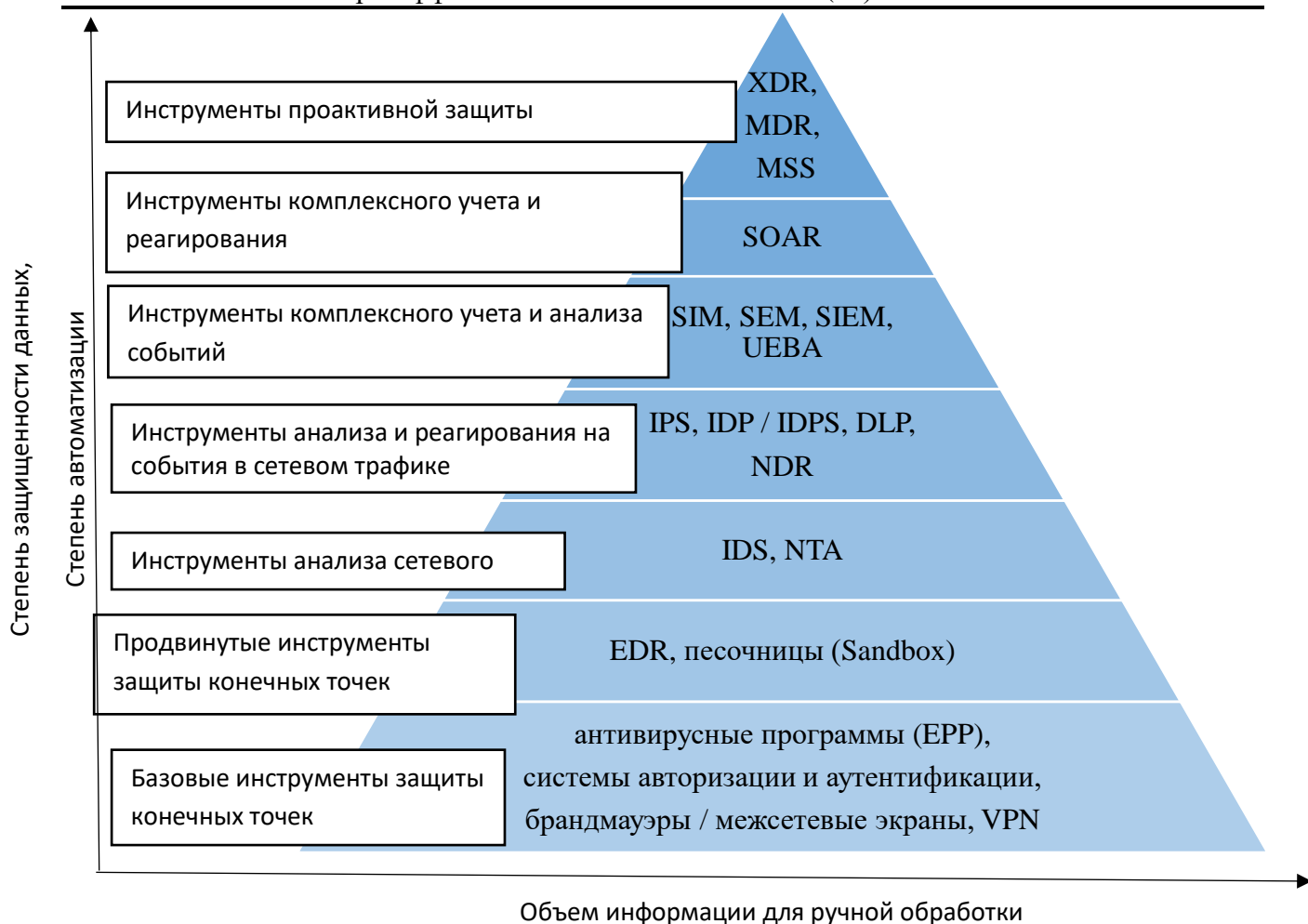


Рисунок 1 – Программные инструменты киберзащиты по категориям

На основе выделенных классов можно более наглядно отобразить рост сложности задач и функциональности инструментами по мере перехода из класса в класс, что обусловлено включением более низко ранговых инструментов в состав более высокоранговых. Так, например, инструменты типа XDR (Extended Detection and Response) включают в свой состав инструменты типов IDS, IPS, NTA, DLP, SIEM и т.п. (конкретный набор может отличаться в зависимости от производителя). Классы значительно легче отобразить в соответствии с выбранным компанией подходом к разработке системы кибербезопасности: Таблица 3.

Таблица 3 – Типовые решения на основе подхода к разработке и класса инструмента кибербезопасности

Подход к разработке	Требования подхода к инструментам	Классы инструментов, соответствующие выбранным направлениям разработки
Классический подход	Автономность инструментов Четкая функциональность Простота внедрения	Базовые инструменты защиты конечных точек Продвинутые инструменты защиты конечных точек Инструменты сетевого анализа Инструменты анализа и реагирования на события в сетевом трафике
Экосистемный подход	Взаимодополняемость и совместимость инструментов Единый аналитический центр Автоматизированность типовых задач	Инструменты комплексного учета и анализа событий Инструменты комплексного учета и реагирования
Результативный и усиленный результативный подход	Единый автоматизированный центр управления Автоматизированная система обучения угрозам Активный поиск слабых мест систем	Инструменты комплексного учета и анализа событий Инструменты комплексного учета и реагирования Инструменты проактивной защиты

### Заключение

В результате проведенного исследования:

1. выделены и описаны современные концептуальные подходы к формированию систем кибербезопасности,
2. выделены и описаны современные подходы к разработке структуры систем кибербезопасности,
3. проведена категоризация современных программных инструментов кибербезопасности,
4. сформирована матрица соответствия подходов и инструментов по категориям.

Результаты исследования могут быть применены для формирования и развития комплексных, непротиворечивых стратегий коммерческих компаний в сфере кибербезопасности.

### Список литературы

1. Буди Г., Барито М. Р., Аде Г. А. Стратегическое управление кибербезопасностью [Электронный ресурс]//Форсайт. 2023. №3. С. 88-96. URL:

- <https://cyberleninka.ru/article/n/strategicheskoe-upravlenie-kiberbezopasnostyu> (дата обращения: 3 мая 2024).
2. Боброва М. В., Мاستилин А. Е. Машинное обучение в кибербезопасности // Научные междисциплинарные исследования. 2021. №2. С. 24-28. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/mashinnoe-obuchenie-v-kiberbezopasnosti> (дата обращения: 3 мая 2024).
  3. Лебедь С. В. Инновационные технологии в сфере кибербезопасности // Современные информационные технологии и ИТ-образование. 2022. №2. С. 383-390. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/innovatsionnye-tehnologii-v-sfere-kiberbezopasnosti> (дата обращения: 1 мая 2024).
  4. Мамонтова С. В. Экономическая и информационная безопасность в условиях цифровой экономики // РСЭУ. 2022. №4 (59). С. 145-153. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ekonomicheskaya-i-informatsionnaya-bezopasnost-v-usloviyah-tsifrovoy-ekonomiki> (дата обращения: 2 мая 2024).
  5. Мартынюк М. С. Организационно-управленческие механизмы обеспечения кибербезопасности российских компаний // Финансовые рынки и банки. 2023. №6. С. 5-9. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/organizatsionno-upravlencheskie-mehanizmy-obespecheniya-kiberbezopasnosti-rossiyskih-kompaniy> (дата обращения: 3 мая 2024).
  6. Михайлов А. А., Ермаков А. А. Особенности российского рынка информационной безопасности в современных экономических условиях // Московский экономический журнал. 2023. №3. С. 502-511. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/osobennosti-rossiyskogo-rynka-informatsionnoy-bezopasnosti-v-sovremennyh-ekonomicheskikh-usloviyah> (дата обращения: 3 мая 2024).
  7. Намиот Д.Е., Ильюшин Е.А., Чижов И.В. Искусственный интеллект и кибербезопасность // International Journal of Open Information Technologies. 2022. №9. С. 135-146. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/iskusstvennyy-intellekt-i-kiberbezopasnost> (дата обращения: 1 мая 2024).
  8. Отузов М., Какаев И., Аннагулыев Д., Атамырадова З. Анализ эффективности существующих методов защиты от киберугроз // Всемирный ученый. 2023. №9. С. 193-196. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-effektivnosti-suschestvuyuschih-metodov-zaschity-ot-kiberugroz> (дата обращения: 1 мая 2024).
  9. Попов Е. Д. Анализ влияния цифровой трансформации на экономическую безопасность организации // Инновации и инвестиции. 2023. №10. С. 165-168. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-vliyaniya-tsifrovoy-transformatsii-na-ekonomicheskuyu-bezopasnost-organizatsii> (дата обращения: 3 мая 2024).
  10. Утегенов Н. Б. Рост угроз кибербезопасности // Universum: технические науки. 2023. №7-1 (112). С. 35-39. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/rost-ugroz-kiberbezopasnosti> (дата обращения: 1 мая 2024).
  11. Халин В.Г., Чернова Г.В. Цифровизация и киберриски // Управленческое консультирование. 2023. №7 (175). С. 28-41. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/tsifrovizatsiya-i-kiberriski> (дата обращения: 3 мая 2024).
  12. Хомякова М.И., Пратусевич В.Р., Рыжкова Т.Б. Исследование рынка антивирусных программ в РФ в современных условиях // Инновации и инвестиции. 2022. №9. С. 215-

219 URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-rynka-antivirusnyh-programm-v-rf-v-sovremennyh-usloviyah> (дата обращения: 3 мая 2024).

## References

1. Budi G., Barito M. R., Ade G. A. Strategic cybersecurity management [Electronic resource] // Foresight. 2023. No. 3. pp. 88-96. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/strategicheskoe-upravlenie-kiberbezopasnostyu> (date of reference: May 3, 2024).
2. Bobrova M. V., Mastilin A. E. Machine learning in cybersecurity // Scientific interdisciplinary research. 2021. No.2. pp. 24-28. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/mashinnoe-obuchenie-v-kiberbezopasnosti> (accessed May 3, 2024).
3. Lebedev S. V. Innovative technologies in the field of cybersecurity // Modern information technologies and IT education. 2022. No.2. pp. 383-390. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/innovatsionnye-tehnologii-v-sfere-kiberbezopasnosti> (date of reference: May 1, 2024).
4. Mamontova S. V. Economic and information security in the digital economy // RSEU. 2022. No.4 (59). pp. 145-153. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ekonomicheskaya-i-informatsionnaya-bezopasnost-v-usloviyah-tsifrovoy-ekonomiki> (accessed May 2, 2024).
5. Martynyuk M. S. Organizational and managerial mechanisms for ensuring cybersecurity of Russian companies // Financial markets and banks. 2023. No.6. pp. 5-9. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/organizatsionno-upravlencheskie-mehanizmy-obespecheniya-kiberbezopasnosti-rossiyskih-kompaniy> (accessed May 3, 2024).
6. Mikhailov A. A., Ermakov A. A. Features of the Russian information security market in modern economic conditions // Moscow Economic Journal. 2023. No.3. pp. 502-511. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/osobennosti-rossiyskogo-rynka-informatsionnoy-bezopasnosti-v-sovremennyh-ekonomicheskikh-usloviyah> (accessed May 3, 2024).
7. Namiot D.E., Ilyushin E.A., Chizhov I.V. Artificial intelligence and cybersecurity // International Journal of Open Information Technologies. 2022. No.9. pp. 135-146. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/iskusstvennyy-intellekt-i-kiberbezopasnost> (date of application: May 1, 2024).
8. Otuzov M., Kakaev I., Annagulyev D., Atamyradova Z. Analysis of the effectiveness of existing methods of protection against cyber threats // World Scientist. 2023. No.9. pp. 193-196. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-effektivnosti-suschestvuyuschih-metodov-zaschity-ot-kiberugroz> (accessed May 1, 2024).
9. Popov E. D. Analysis of the impact of digital transformation on the economic security of an organization // Innovations and investments. 2023. No.10. pp. 165-168. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-vliyaniya-tsifrovoy-transformatsii-na-ekonomicheskuyu-bezopasnost-organizatsii> (date of access: May 3, 2024).
10. Utegenov N. B. The growth of cybersecurity threats // Universum: technical Sciences. 2023. No.7-1 (112). pp. 35-39. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/rost-ugroz-kiberbezopasnosti> (accessed May 1, 2024).
11. Khalin V.G., Chernova G.V. Digitalization and cyber risks // Managerial consulting. 2023. No.7 (175). pp. 28-41 URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/tsifrovizatsiya-i-kiberriski> (date of reference: May 3, 2024).

12. Khomyakova M.I., Pratushevich V.R., Ryzhkova T.B. Market research of antivirus programs in the Russian Federation in modern conditions // Innovations and investments. 2022. No. 9. pp. 215-219 URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-rynka-antivirusnyh-programm-v-rf-v-sovremennyh-usloviyah> (accessed May 3, 2024).
-



Международный журнал информационных технологий и энергоэффективности

Сайт журнала:

<http://www.openaccessscience.ru/index.php/ijcse/>



УДК 535.241

## ЛИНЕЙНАЯ МЕРА НА ОСНОВЕ АКУСТООПТИЧЕСКИХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ

**Зайцев И.А.**

*ФГБОУ ВО "МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ «СТАНКИН», Москва, Россия (127055, г. Москва, Вадковский пер., 3А, стр. 1.), e-mail: zaitsev\_ilya99@mail.ru*

Перспективным направлением является разработка методов дистанционной метрологической поверки. Для реализации одного из таких методов в статье предлагается создать многозначную меру на основе акустооптического взаимодействия, воспроизводимую от частоты и управляемую дистанционно. Цена деления в этом измерительном приборе может изменяться в зависимости от частоты, а пространственное положение меры управляется изменением фазы возбуждающего сигнала. Создание дистанционно управляемой меры, воспроизводимой от частоты, позволит сократить затраты, связанные с метрологической поверкой станков, увеличить качество и производимой продукции, а также даст стимул к развитию новых приборов на основе акустооптики.

Ключевые слова: Акустооптика, линейные меры, метрология.

## A LINEAR MEASURE BASED ON ACOUSTIC-OPTICAL INTERACTIONS

**Zaitsev I.A.**

*MOSCOW STATE TECHNICAL UNIVERSITY «STANKIN», Moscow, Russia (127055, Moscow, Vadkovsky Lane, 3A, p. 1), e-mail: zaitsev\_ilya99@mail.ru*

A promising area is the development of remote metrological verification methods. To implement one of these methods, it is necessary to create a multivalued measure based on acousto-optical interaction, reproducible from frequency and controlled remotely. The division price in this measuring device can change depending on the frequency, and the spatial position of the measure is controlled by changing the phase of the signal exciting the scale. The creation of a remotely controlled measure, reproducible from frequency, will reduce the costs associated with metrological verification of machines, increase the quality of manufactured products, and also give an incentive to the development of new devices based on acousto-optics.

Keywords: Acousto-optics, linear measures, metrology.

### Введение

Технический прогресс в машиностроении невозможен без развития и улучшения измерительных инструментов. Особое значение имеют измерительно-отсчетные системы с широким диапазоном измерения линейных перемещений. Эти преобразователи перемещений являются ключевыми компонентами точных автоматических станков, измерительных приборов и различных систем автоматического управления, которые используют датчики линейных перемещений.

Одной из важнейших частей системы измерений является линейная мера. Для создания многозначных линейных мер используется механическое деление. Однако, с увеличением требований к точности линейных шкал, использование механического деления становится все сложнее. Поэтому необходимо искать новые физические основы для создания таких шкал.



Такой физической основой может служить широкое использование акустооптических явлений.

Достоинством акустооптических методов является не только исключение механического деления, как способа создания шкал, но и возможность управления измерительным процессом.

Благодаря этому свойству становится возможным создание акустооптических измерительных линейных шкал с быстродействующим компьютерным управлением. Применение управляемых шкал открывает новые пути для широкого использования кибернетических принципов с целью повышения точности, гибкости, приспособляемости и эффективности измерительных систем в реальных условиях измерений.

### **Виды измерительных линейных шкал**

Измерительная линейная шкала (ИЛШ) представляет собой тело с периодически распределенным по длине физическим свойством, период которого постоянен по длине и стабилен во времени. Периодичность физического свойства шкалы обнаруживается отсчетным устройством и преобразуется в нем в соответствующий сигнал, несущий информацию об измеряемой величине.

Поэтому измерительные линейные шкалы можно классифицировать по следующим двум признакам:

- 1) по способу распределения физических свойств;
- 2) по распределенному физическому свойству.

Первый классификационный признак обеспечивает разделение различных способов создания ИЛШ, каждый из которых придает шкалам свои особенности. Вторым признаком позволяет осуществить выбор измерительного преобразования, необходимого для обнаружения и отсчета периодов ИЛШ.[1]

По способу периодического распределения физического свойства измерительные линейные шкалы можно разбить на две большие группы:

- 1) ИЛШ, полученные способом механического деления,
- 2) ИЛШ, основанные на распространении волн различной физической природы.

Рассмотрим ИЛШ, основанные на механическом делении. Среди шкал этой группы известны и применяются шкалы с периодическим распределением следующих физических свойств:

- 1) геометрических,
- 2) магнитных,
- 3) оптических.

### **Геометрические измерительные шкалы**

Наиболее обширной по количеству возможных вариантов и конструкций является группа ИЛШ с периодическим распределением по длине геометрических свойств.

В качестве таких шкал используются тела, в которых периодически распределены различные геометрические поверхности: плоскость (рейки с плоскими вставками, с прямоугольными или пилообразными зубцами); винтовая поверхность (измерительные ходовые винты); цилиндрические поверхности (зубчатые рейки, рейки с цилиндрическими вставками) и другие поверхности. Периодичность геометрического свойства этих шкал

материализуется в виде выступов, зубцов, витков, отверстий и других элементов одинаковой формы, следующих друг за другом по длине шкалы строго через равные и постоянные интервалы. Примером такой шкалы может быть концевые меры длины Иогансона приведенные на Рисунке1.



Рисунок 1 – Концевые меры длины Иогансона

### Магнитные измерительные шкалы

Более перспективными являются электрические принципы отсчета. Высокая чувствительность электрических датчиков позволяет определять деления шкал с большой точностью (до  $\pm 0,1$  мкм и выше). При этом исключаются субъективные погрешности оператора и вырабатывается электрический сигнал, который может быть использован для автоматизации координатных перемещений. Электрические измерения осуществляются бесконтактным способом, и точность шкал с течением времени не нарушается.

Принцип действия некоторых магнитных измерительных шкал (рисунок 2) основан на эффекте Холла: под действием внешнего магнитного поля в проводнике с постоянным током возникает холловское напряжение (поперечная разность потенциалов). В таких источниках магнитного поля выполняет специальная магнитная лента, вдоль которой перемещается считыватель. Измерение осуществляется с помощью интегральной микросхемы со встроенным датчиком магнитного поля. [2]

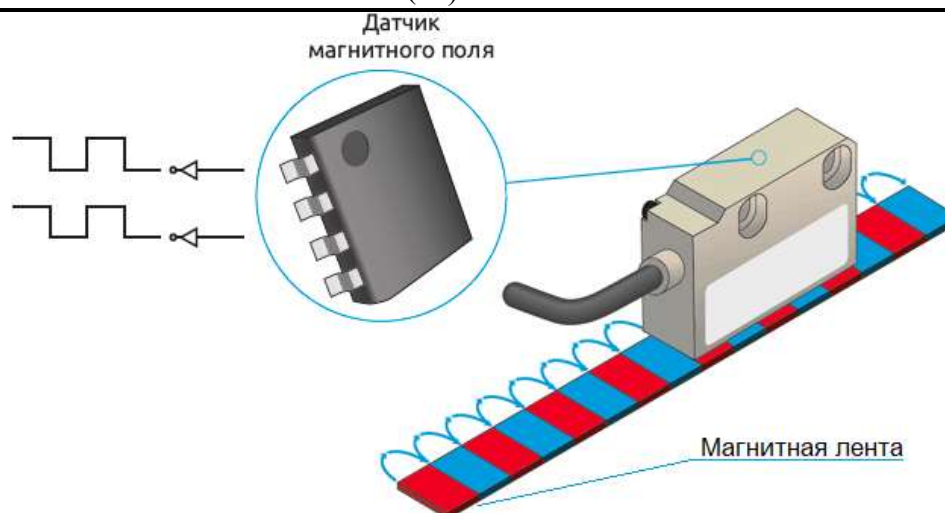


Рисунок 2 – Магнитная шкала на эффекте Холла

При перемещении датчика магнитного поля по магнитной ленте формируется выходной сигнал. Сигнал представляет собой последовательность импульсов, количество которых пропорционально пройденному расстоянию, а частота — скорости движения.

Использование электрических принципов с периодическим распределением геометрических свойств позволяет повысить точность линейных измерений до 10 мкм. Другие бесконтактные принципы отсчета этих свойств (пневматический, гидравлический и др.) применения не получили.

### Оптические измерительные шкалы

Наиболее точными являются шкалы с периодическим распределением по длине оптических свойств. К ним относятся ИЛШ с периодическим распределением коэффициента оптического поглощения или прозрачности (стеклянные штриховые шкалы, растры, дифракционные решетки, шаблоны и т.д.) и коэффициента оптического отражения (металлические плоские и цилиндрические штриховые шкалы, зеркальные валики, отражательные растры, дифракционные решетки).

Наибольшее распространение в измерительных системах точных станков и приборов получили плоские стеклянные и металлические штриховые меры длиной до 1-2 м. Материал для штриховых мер выбирается таким, чтобы его температурный коэффициент линейного расширения был близок к таковому для чугуна, стали ( $11,5 \cdot 10^{-6}$ ). [3]

Стремление к автоматизации измерения и уменьшению цены деления привело к созданию растровых измерительных систем. Примером может служить система, предложенная английской фирмой "HEIDENHAIN". (рисунок 3). Работа большинства датчиков HEIDENHAIN основана на фотоэлектрическом методе считывания. Фотоэлектрическое считывание производится без контакта, и поэтому отсутствуют изнашивающиеся элементы. Оно позволяет распознавать штрихи шириной в несколько микрометров и генерировать выходной сигнал с очень маленьким периодом.

Устройство состоит из шкалы типа DIADUR, источника света, считывающего устройства. После прохождения параллельных лучей света через шаблон, на определенном расстоянии отображается поле света и тени. Здесь находится счётная шкала. При движении шаблона и шкалы друг относительно друга, проходящий свет подвергается модуляции: если

зазоры на шаблонах совпадают, то свет проходит, если штрихи совпадают с зазорами, то свет перекрывается. Массив фотоэлементов преобразует эти световые изменения в электрический сигнал. Штрихи на шаблоне, структурированные специальным образом, фильтруют световой поток так, чтобы выходной сигнал был приближен к синусоидальной форме. Чем меньше период штрихов, тем меньше и точнее должно быть расстояние между шкалой и формирующим шаблоном.



Рисунок 3 – Измерительная система фирмы «HEIDENHAIN»

Описанные выше ИЛШ, несмотря на различия в физических явлениях, на которых они основаны, имеют одну общую характерную особенность: распределение по длине физического свойства получено в них способом механического деления. Действительно, перенос линейного размера от образцовой меры на шкалу осуществляется при этом способе через кинематические звенья разнообразных механических устройств: делительных машин, прецизионных токарно-винторезных, зуборезных, резьбо- и зубошлифовальных станков и других средств.

### Заключение

На сегодняшний день для создания многозначных линейных мер применяется механическое деление. Однако, с увеличением требований к точности линейных шкал, использование механического деления становится все сложнее. Поэтому необходимо искать новые физические основы для создания таких шкал. Такой физической основой может служить широкое использование акустооптических явлений.

Достоинством акустооптических методов является не только исключение механического деления, как способа создания шкал, но и возможность управления измерительным процессом.

Благодаря этому свойству становится возможным создание акустооптических измерительных линейных шкал с быстродействующим компьютерным управлением. Применение управляемых шкал открывает новые пути для широкого использования кибернетических принципов с целью повышения точности, гибкости, приспособляемости и эффективности измерительных систем в реальных условиях измерений

### Список литературы

1. Бурдун Г.Д., Марков Б.Н. Основы метрологии: Учеб. Пособие. – М.: Изд-во стандартов, 1984. – 312 с.

2. Сергеев А.Г. и др. Метрология, стандартизация, сертификация: Учеб. пособие. – М.: Логос, 2005. – 536 с.
3. Сорочкин Б.М. Автоматизация измерений и контроля размеров деталей, Л. Машиностроение, 1990, 365 с.

## References

1. Burdun G.D., Markov B.N. Fundamentals of metrology: Textbook. The manual. – M.: Publishing House of Standards, 1984. – 312 p.
  2. Sergeev A.G. et al. Metrology, standardization, certification: Textbook. – M.: Logos, 2005. – 536 p.
  3. Sorochkin B.M. Automation of measurements and dimensional control of parts, L. Mashinostroenie, 1990, 365 p.
-



Международный журнал информационных технологий и  
энергоэффективности

Сайт журнала:

<http://www.openaccessscience.ru/index.php/ijcse/>



УДК 004.961

## ОБЗОР СУЩЕСТВУЮЩИХ МЕТОДОВ СЖАТИЯ ВИДЕОДАНЫХ

<sup>1</sup>Кирпичев Д.С., Шпедер Д.А, Трокоз Д.А.

ФГБОУ ВО «ПЕНЗЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ», Пенза, Россия (440015, г.Пенза, проезд Байдукова, 1А/11), e-mail: <sup>1</sup>valerochkaleonich228@mail.ru

**В статье описаны алгоритмы сжатия видеоданных с потерями. Выявлены ключевые проблемы, которые возникают при кодировании видеофайлов. Рассмотрены основные особенности и этапы сжатия видеопотока.**

**Ключевые слова:** Сжатие, видеоданные, видеопоток, кодек, алгоритм, потери, кодирование, кадр, пиксел.

## OVERVIEW OF EXISTING VIDEO DATA COMPRESSION METHODS

<sup>1</sup>Kirpichev D.S., Shpeder D.A., Trokoz D.A.

PENZA STATE TECHNOLOGICAL UNIVERSITY, Penza, Russia (440015, Moscow, Vadkovsky Lane, 3A, p. 1), e-mail: <sup>1</sup>valerochkaleonich228@mail.ru

**The paper describes lossy video compression algorithms. The main problems that arise when encoding video files have been identified. The main features and stages of video stream compression are considered.**

**Keywords:** Video Data compression, video, video stream, codec, algorithm, lossy compression, coding, frame, pixel.

### Введение

Необходимость качественной передачи информации с каждым днем возрастает. Современные каналы связи, по которым передаются видеоданные имеют ограниченную производительность, так как при передаче цифрового сигнала, он подвергается зашумлению. Кодирование информации обеспечивает компактное представление данных. Качество видеофайла зависит от следующих факторов: разрешение кадра, глубина цвета, частота кадров в секунду и алгоритм сжатия. Самое высокое качество видео из наиболее часто используемых пользователями на данный момент имеет разрешение 7680×4320 (33,2 мегапикселя), которое превосходит предыдущий стандарт телевидения сверхвысокой чёткости в четыре раза. С ростом качества передаваемой информации, растет и ее объем что повышает необходимость уменьшения размера данных. Желательным видом сжатия является сжатие без потерь, когда при раскодировании файла не ухудшается его качество. На практике такого качества достичь достаточно трудно, поэтому обычно применяется сжатие с потерями. При кодировании видеоданных с потерями полученный в результате сжатия файл будет иметь худшее качество относительно исходных данных. Сложность сжатия видеопотока состоит в необходимости работать с последовательностью кадров. При использовании методов сжатия видеопотока (ВП), исходный видеофайл рассматривается как перечень кадров, следующих друг за другом. [1] При сжатии видеофайлов необходимо учитывать, что порядок следования кадров должен



оставаться неизменным, так как если нарушить порядок кадров, то изменится и сам файл. Каждый кадр в процессе кодирования рассматривается как отдельное изображение, состоящее из пикселей.

Кодек – программный инструмент для кодирования видеоданных, под кодированием понимается процесс преобразования видеосигнала в наиболее удобный формат для хранения и передачи. Кодеки используются для сжатия и распаковки видео и аудио потока. Кодеки во время работы, в зависимости от их вида и цели кодирования, используют как метод сжатия с потерями, так и без потерь [2].

Задача сжатия видеоданных наиболее актуальна применительно к камерам видеонаблюдения, где в среднем видео, записанное одной камерой с разрешением записи 1920x1080 без применения кодеков сжатия занимает 20GB в минуту. В одной только Москве установлено 221 тысяч таких камер. Для своевременной и наиболее полной передачи информации необходимо использовать алгоритмы сжатия.

### **Сжатие с потерями**

Данный вид сжатия можно разделить на следующие подгруппы: сжатие с естественными и неестественными потерями. В первом случае человеческий глаз не замечает дефектов изображения, полученных при сжатии видеопотока [3]. На восприятие объектов в окружающем мире оказывает влияние расстояние между объектом и угол его обзора, кроме того на изображение, которое получает человек, влияют различные помехи: дождь, туман и пр. Все эти факторы определяют уровень детализации изображений, воспринимаемых человеческим глазом. Орган зрения человека, устроен таким образом, что мы различаем острые грани и линии независимо от изменений в качестве изображения. [4].

При проигрывании видео, человек воспринимает изменения на экране монитора, как непрерывные, так как кадры меняются быстро. Для создания эффекта непрерывности достаточна смена десяти кадров за одну секунду. Все видеокодеки при сжатии разделяют видеофайл на кадры и работают с каждым изображением по отдельности. В компьютере изображения хранятся, как совокупности точек (пикселей). Цвет каждого пикселя. Для хранения и отображения изображения на электронных носителях используются цветовые модели. Наиболее популярной на данный момент цветовой моделью является модель RGB. Все цвета модели в данном случае формируются из трех цветов красного, зеленого и синего. По одному байту необходимо для кодирования красного зеленого и синего цвета, из этого следует, что для описания одного цвета из палитры необходимо три байта в памяти компьютера. При кодировании видеофайлов необходимо учитывать особенности хранения каждого кадра последовательности.

Далее приведем сравнительный анализ существующих методов сжатия видеофайлов.

### **Векторная квантизация**

Для упрощения работы с изображением и сокращения объемов оперативной памяти, который необходимо затратить для работы с видеопотоком, необходимо разбить каждый кадр на блоки. [5] Сжатие выполняется посредством группировки блоков по общим признакам и замены группы схожих блоков одним большим; следующим шагом на основе данной замены формируется двоичная таблица (кодовая книга) общих блоков из наиболее коротких кодовых слов [6]. После этого из общих блоков собирается изображение, на основе полученной ранее

таблицы. Считывание элементов таблицы позволяет максимально сжать изображение с некоторыми потерями в качестве. Если уменьшить число классов и увеличить количество блоков, относительно которых определяется схожесть, то степень сжатия изображения будет максимальной. При уменьшении размеров таблицы значительно ухудшается качество исходного видео [7].

Возьмем три матрицы размерностью 4x4 (Рисунок 1). Данные матрицы представляют собой блоки, которые формируются кодеком при векторной квантизации [5].

(Блок 1)	(Блок 2)	(Блок 3)
128 128 128 128	128 127 128 128	128 127 126 128
128 128 128 128	128 128 128 128	128 128 128 128
128 128 128 128	128 128 127 128	127 128 128 128
128 128 128 128	128 128 128 128	128 128 128 128

Рисунок 1 – Сформированные матрицы

Для человеческого глаза эти блоки неотличимы, из этого следует, что 2-й и 3-й блоки можно заменить первым. В результате получаем кодовую книгу (Рисунок 2) [8].

128 128 128 128  
128 128 128 128  
128 128 128 128  
128 128 128 128

Рисунок 2 – Кодовая книга

### Дискретное косинусное преобразование (ДКП)

Одним из способов сжатия изображений является кодирование посредством преобразования. Данный способ применяется в таких форматах изображений как JPEG и в видеокодеках таких как MPEG-1, MPEG-2 и MPEG-4. Глаз человека может воспринять максимум 100 – 150 кадров в секунду, большая частота кадров имеет высокие показатели ДКП. Значения коэффициентов квантования прямо пропорционально зависят от частоты. Если рассматривать стандарт JPEG, то можно заметить, что чем выше частота коэффициентов ДКП, тем более высокие коэффициенты квантования необходимо применять. В данном случае используется математическая функция косинуса. Изображение делится на блоки 8 на 8 пикселей, каждый из этих блоков взвешивается на основе коэффициента – числа, которое определяет влияние блока на изображение в целом. Чем выше частота волны, тем более высокая частота сигнала. Косинусоидальные волны высокой частоты (цвет на изображении меняется резко) влияют на изображение в меньшей степени, чем волны низкой частоты и в процессе квантования принимают значения близкие к нулю и в процессе кодирования отсекаются. Далее происходит квантование, получившейся матрицы коэффициентов на



основе общепринятой матрицы квантования [9]. В данном случае выполняется квантование коэффициентов посредством кодирования кодов сигнала, в которых содержатся также и сигналы с нулевыми коэффициентами.

Чем выше частота волны, тем более высокая частота сигнала. Косинусоидальные волны высокой частоты (цвет на изображении меняется резко) влияют на изображение в меньшей степени, чем волны низкой частоты и в процессе квантования принимают значения близкие к нулю и в процессе кодирования отсекаются.

В данном методе сжатия применяются коды переменной длины. Короткие коды присваиваются часто встречающимся пикселям, а длинные – редко встречающимся [10]. При кодировании видеопотока видекодек сопоставляет отдельно взятый пиксел с количеством бит, благодаря этому и происходит распаковка и сжатие информации. В процессе квантования коэффициентов можно выявить, какие коэффициенты в наименьшей мере влияют на изображение и отбросить их в процессе сжатия. В процессе сжатия необходим ДКП матрицы. Ниже представлены формулы для расчёта ДКП матрицы  $N \times N$ , строки которой – функции косинуса

$$ДКП(m, n) = \sqrt{\frac{1 - \Delta(m, 1)}{N} \cos \frac{\pi(n - 1/2)(m - 1)}{N}}$$

где

$$\Delta(m, 1) = \begin{cases} 1, & \text{если } m = 1 \\ 0, & \text{в противном случае} \end{cases}$$

$N$  – число выборок в блоке [11].

Данный метод основывается на прохождении сигнала через фильтры верхних (ФВЧ) и нижних (ФНЧ) частот. Перед тем, как сигнал изображения будет передан на фильтры, происходит его разбиение на две равнозначных группы. Наиболее важным условием сжатия является воспроизведение первоначального изображения с минимальными потерями, это необходимо учитывать при подборе параметров фильтров. Выполнение данного условия позволит подать результат на другую пару фильтров для большего сжатия [12].

Простым примером DWT является вейвлет – преобразование Хаара, которое выполняется в следующем порядке.

1. Входной сигнал -  $x[n]$  (ряд выборок, индексированных по  $n$ ).
2. Нахождение среднего числа двух последовательных выборок.

$$G[n] = \frac{1}{2} (x[n] + x[n+1])$$

3. Нахождения разности двух последовательных выборок.

$$H[n] = \frac{1}{2} (x[n+1] - x[n])$$

Заметим, что:

$$X[n] + g[n] = h[n]$$

$$X[n+1] = g[n] + h[n]$$

В результате применения данного метода кодирования на выходе возможно получить избыточную информацию, благодаря этому, опустив четные члены последовательностей

сигналов, возможно получить две последовательности. Далее воспроизводится входной сигнал  $x[n]$ .

$$g[0], g[2], g[4], \dots$$

$$h[0], h[2], h[4], \dots$$

$$X[0] = g[0] - h[0]$$

$$X[1] = g[0] + h[0]$$

$$X[2] = g[2] - h[2]$$

$$X[3] = g[2] + h[2]$$

и т.д.

Отличительной особенностью ФНЧ является то, что если на его вход подать сигнал изображения, то разрешение выходного изображения будет значительно ухудшаться. Чтобы решить данную проблему и частично привести качество полученного изображения к исходному виду применяется фильтр высоких частот, который добавляет детали к сжатому изображению [13].

Данный метод сжатия выполняется в два этапа. Первый этап – это основной уровень, когда изображение подается на ФНЧ, а второй – это уровень расширения, на котором происходит процесс добавления деталей в изображение для повышения его разрешения.

Данный метод можно применять несколько раз к одному и тому же видео файлу для большего сжатия.

Так как с каждым днем повышается разрешение видеофайлов, насыщенность цвета на экране становится все больше, растут и требования к кодекам. Необходимо применять все более сложные фильтры. Из-за примитивности данных фильтров, такой метод сжатия в настоящее время на практике не применяется [14].

### Метод компенсации движения

Как сказано выше, видеоизображение – это последовательность кадров. В большинстве современных видеоигр частота величина частоты кадров в секунду равна 60, а для видеофайлов – 30. Если сравнить два соседних кадра, то они не будут иметь существенных различий, данный алгоритм основан на поиске сходств между кадрами, которые следуют друг за другом. Необходимо отметить, что проще всего сжимать видео, которые сняты одним кадром – «без склеек», так как в данном случае отсутствует резкая смена кадра и сходство между соседними кадрами максимальное. Данный алгоритм разбивает кадр на блоки, выполняется поиск аналогичного блока в другом кадре (оценка движения), и на основе этих данных создается поле векторов движения. При выполнении компенсации необходимо учитывать вектора движения, это позволит создать изображение максимально близкое к исходному (Рисунок 3).

Подробнее рассмотрим этапы данного метода кодирования.

1. На первом этапе на вход подается текущий кадр видеопотока;
2. Кадр делится на ячейки одного размера (например 8x8 пикселей);
3. Далее происходит обработка каждого блока, в ходе которой выполняется поиск максимальных соответствий того же самого блока на предыдущем кадре.
4. Следующим шагом возможно получить отображение разницы нахождения блоков на текущем кадре, относительно предыдущего.

5. Заключительным этапом создается изображение на основе разницы соседних кадров (Рисунок 4) [5].

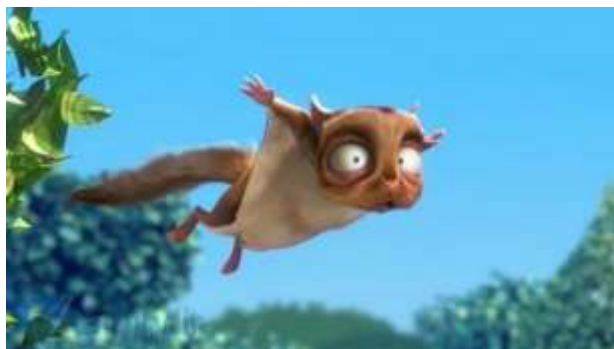


Рисунок 3 – Исходное изображение



Рисунок 4 – Сжатый кадр

### **Заключение**

Из сравнения рассмотренных методов сжатия следует, что наиболее удобными являются методы дискретного косинусного преобразования и векторной квантизации, данные методы подразумевают деление изображения на блоки, квантование сигнала и группировку блоков по общим признакам. Данные методы сжатия могут применяться для полноцветных изображений и не зависят от изменения яркости, тогда как методы кодирования длин серий и дискретного косинусного преобразования не применяются для сжатия полноцветных изображений, а метод компенсации движения чувствителен к изменению яркости изображения.

Таким образом, кодирование с потерями обеспечивает сжатие видеоданных, но при этом качество декодированного видео снижается. В результате сравнения основных видов сжатия изображений и основных принципов их работы, пришли к выводу, что в основном процесс кодирования построен на разделении исходного файла на блоки, для последующей их группировки, что дает значительное уменьшение кодированного файла по отношению к первоначальному.

## Список литературы

1. Крючкова, Ю. П. Анализ искажений изображений в современных видеокодеках / Ю. П. Крючкова, Ф. М. Игнатов, И. В. Власюк // Фундаментальные проблемы радиоэлектронного приборостроения. – 2009. – Т. 9, № 4. – С. 182-185.
2. Лапшенков, Е. М. Модель оценки потерь качества графического изображения при сжатии с потерями, ориентированная на системы распознавания образов / Е. М. Лапшенков // Компьютерная оптика. – 2011. – Т. 35, № 3. – С. 408-415.
3. Филиппов, Т. К. Сжатие цифровых данных с потерями. Оценка качества сжатия / Т. К. Филиппов // Северный регион: наука, образование, культура. – 2013. – № 2(28). – С. 100-105.
4. Судаков, С. Е. Протоколы сжатия видеоинформации в Internet / С. Е. Судаков // Актуальные проблемы радио- и кинотехнологий : материалы II Международной научно-технической конференции, Санкт-Петербург, 24–27 октября 2017 года. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный институт кино и телевидения, 2018. – С. 130-136.
5. Исследование методов сегментации изображений / И. В. Грибков, А. В. Захаров, П. П. Кольцов [и др.] // Программные продукты и системы. – 2008. – № 4. – С. 7.
6. Станкевич, Л. А. Распознавание трехмерных объектов с использованием их структурного описания / Л. А. Станкевич, В. В. Тихомиров, Д. В. Троцкий // Нейрокомпьютеры: разработка, применение. – 2006. – № 6. – С. 70-79.
7. Токтасынов, С. Э. Анализ программ сжатия видео с выявлением качества работы кодеков / С. Э. Токтасынов // Системы управления, информационные технологии и математическое моделирование : Материалы V Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, Омск, 25–26 апреля 2023 года / Отв. редактор В.А. Бадрызов. – Омск: Омский государственный технический университет, 2023. – С. 521-528.
8. Акимов, В. А. Дистанционные технологии в образовании. Алгоритмы сжатия информации и форматы данных для передачи текстовой, звуковой и видеоинформации / В. А. Акимов // Известия МГТУ МАМИ. – 2013. – Т. 2, № 4(18). – С. 352-355.
9. Донец, Е. С. Анализ методов кодирования видеоинформации для условий передачи видео в канале с малыми скоростями / Е. С. Донец // Актуальные тенденции и инновации в развитии российской науки : Сборник научных статей. Том Ч. XI. – Москва : Издательство "Перо", 2021. – С. 61-68.
10. Гущина, О. Н. Удаление артефактов блочности из сжатых изображений с использованием адаптивного дискретного косинусного преобразования / О. Н. Гущина, В. Е. Соловьев, А. Н. Ганин // DSPA: Вопросы применения цифровой обработки сигналов. – 2011. – Т. 1, № 3. – С. 119-122.
11. Токарь, П. С. Особенности применения дискретного косинусного преобразования в алгоритмах сжатия данных с потерями / П. С. Токарь, Е. Н. Шевченко // Вестник современных исследований. – 2018. – № 1.1(16). – С. 139-141.
12. Кобер, В. И. Рекурсивное вычисление дискретного косинусного преобразования для обработки сигналов с пониженным разрешением / В. И. Кобер, А. В. Вохминцев, А. В. Мельников // Доклады Академии наук. – 2015. – Т. 461, № 3. – С. 257.

13. Евсютин, О. О. Встраивание информации в область дискретного косинусного преобразования цифровых изображений с безошибочным извлечением / О. О. Евсютин, А. С. Кокурина // Электронные средства и системы управления. Материалы докладов Международной научно-практической конференции. – 2017. – № 1-2. – С. 70-73.
14. Веденин, А. В. Реализация дискретного косинусного преобразования для сжатия изображений и видео с применением вычислений на графических процессорах / А. В. Веденин, С. М. Морозов // Наука настоящего и будущего. – 2018. – Т. 1. – С. 89-90.
15. Потапов, П. В. Использование методов локальной оптимизации для поиска векторов похожести при сжатии видеоданных / П. В. Потапов // Электронные средства и системы управления. Материалы докладов Международной научно-практической конференции. – 2009. – № 1. – С. 60-66..

## References

1. Kryuchkova, Yu. P. Analysis of image distortions in modern video codecs / Yu. P. Kryuchkova, F. M. Ignatov, I. V. Vlasyuk // Fundamental problems of radioelectronic instrumentation. – 2009. – Vol. 9, No. 4. – pp. 182-185.
2. Lapshenkov, E. M. A model for estimating the loss of graphic image quality during lossy compression, focused on image recognition systems / E. M. Lapshenkov // Computer optics. - 2011. – vol. 35, No. 3. – pp. 408-415.
3. Filippov, because Lossy digital data compression. Assessment of compression quality / T. K. Filippov // Northern region: science, education, culture. – 2013. – № 2(28). – Pp. 100-105.
4. Sudakov, S. E. Protocols for compressing video information on the Internet / S. E. Sudakov // Actual problems of radio and film technologies : materials of the II International Scientific and Technical Conference, St. Petersburg, October 24-27, 2017. – St. Petersburg: St. Petersburg State Institute of Film and Television, 2018. – pp. 130-136.
5. Investigation of image segmentation methods / I. V. Gribkov, A.V. Zakharov, P. P. Koltsov [et al.] // Software products and systems. - 2008. – No. 4. – S. 7.
6. Stankevich, L. A. Recognition of three-dimensional objects using their structural description / L. A. Stankevich, V. V. Tikhomirov, D. V. Trotsky // Neurocomputers: development, application. - 2006. – No. 6. – pp. 70-79.
7. Toktasynov, S. E. Analysis of video compression programs with identification of the quality of codecs / S. E. Toktasynov // Control systems, information technologies and mathematical modeling : Materials of the V All-Russian Scientific and practical conference with international participation, Omsk, April 25-26, 2023 / Editor V.A. Badryzlov. Omsk: Omsk State Technical University, 2023. pp. 521-528.
8. Akimov, V. A. Distance learning technologies in education. Information compression algorithms and data formats for the transmission of text, audio and video information / V. A. Akimov // Izvestiya MSTU MAMI. – 2013. – Vol. 2, No. 4(18). – pp. 352-355.
9. Donets, E. S. Analysis of video encoding methods for video transmission conditions in a channel with low speeds / E. S. Donets // Current trends and innovations in the development of Russian science : A collection of scientific articles. Volume XI. – Moscow : Publishing House "Pero", 2021. – pp. 61-68.

10. Gushchina, O. N. Removal of blockiness artifacts from compressed images using adaptive discrete cosine transformation / O. N. Gushchina, V. E. Solovyov, A. N. Ganin // DSPA: Issues of digital signal processing application. – 2011. – Vol. 1, No. 3. – pp. 119-122.
  11. Tokar, P. S. Features of the application of discrete cosine transformation in lossy data compression algorithms / P. S. Tokar, E. N. Shevchenko // Bulletin of Modern Research. – 2018. – № 1.1(16). – Pp. 139-141.
  12. Kober, V. I. Recursive calculation of a discrete cosine transform for low-resolution signal processing / V. I. Kober, A.V. Vokhmintsev, A.V. Melnikov // Reports of the Academy of Sciences. – 2015. – Vol. 461, No. 3. – p. 257.
  13. Evsyutin, O. O. Embedding information in the field of discrete cosine transformation of digital images with error-free extraction / O. O. Evsyutin, A. S. Kokurina // Electronic means and control systems. Materials of the reports of the International Scientific and Practical Conference. - 2017. – No. 1-2. – pp. 70-73.
  14. Vedenin, A.V. Implementation of discrete cosine transformation for image and video compression using calculations on graphics processors / A.V. Vedenin, S. M. Morozov // Science of the present and the future. – 2018. – Vol. 1. – pp. 89-90.
  15. Potapov, P. V. Using local optimization methods to search for vectors similarities in video data compression / P. V. Potapov // Electronic tools and control systems. Materials of the reports of the International Scientific and Practical Conference. - 2009. – No. 1. – pp. 60-66.
-



Международный журнал информационных технологий и  
энергоэффективности

Сайт журнала:

<http://www.openaccessscience.ru/index.php/ijcse/>



УДК 004.9

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ДОПОЛНЕННОЙ РЕАЛЬНОСТИ В КАЧЕСТВЕ СРЕДСТВА ВИЗУАЛИЗАЦИИ ТОВАРОВ И УСЛУГ

**Блащук О.Д.**

ФГАОУ ВО "НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, МЕХАНИКИ И ОПТИКИ (ИТМО)", Санкт-Петербург, Россия (197101, город Санкт-Петербург, Кронверкский пр-кт, д. 49 литер а), e-mail: [blachsuk@yandex.ru](mailto:blachsuk@yandex.ru)

В данной работе рассматривается влияние дополненной реальности на процесс визуализации товаров и услуг. Отдельное внимание отводится анализу влияния AR-инструментов на поведение потребителей и их предпочтения в выборе товаров и услуг, что может быть особенно полезно для предприятий, занимающихся розничной торговлей и предоставлением услуг, а также специалистов в области технологий и маркетинга. Выделяются ключевые задачи, решаемые компаниями с помощью внедрения AR-инструментов, с приведением существующих примеров. Подчеркиваются преимущества AR: улучшение взаимодействия с клиентами, сокращение цикла продаж, увеличение уникальности бренда. Освещаются сложности, связанные с высокими затратами на разработку и поддержку AR-решений, а также проблемы конфиденциальности данных. В заключении делается вывод о перспективности использования AR-технологии для демонстрации товаров и услуг при должном анализе рисков и тщательному подходу к планированию.

Ключевые слова: Дополненная реальность, AR, визуализация товаров, улучшение пользовательского опыта, инновации, маркетинг, лояльность, ритейл, e-commerce.

## USE OF AUGMENTED REALITY TECHNOLOGY AS A MEANS OF VISUALIZING GOODS AND SERVICES

**Blashchuk O.D.**

NATIONAL RESEARCH UNIVERSITY OF INFORMATION TECHNOLOGIES, MECHANICS AND OPTICS (ITMO), St. Petersburg, Russia (197101, St. Petersburg, Kronverkskiy pr-kt, 49), e-mail: [blachsuk@yandex.ru](mailto:blachsuk@yandex.ru)

This paper examines the impact of augmented reality on the process of visualization of goods and services. Special attention is given to the analysis of the impact of AR-tools on consumer behavior and their preferences in the choice of goods and services, which can be especially useful for companies engaged in retail and service provision, as well as for technology and marketing specialists. The key challenges that companies are solving by implementing AR tools are highlighted and existing examples provided. The benefits of AR are emphasized: improved customer interaction, shortened sales cycle, increased brand uniqueness. The difficulties associated with high costs of development and support of AR solutions, as well as data privacy issues are highlighted. The paper concludes that AR technology is promising for demonstrating products and services if the risks are properly analyzed and careful planning is done.

Keywords: Augmented reality, AR, product visualization, user experience improvement, innovation, marketing, loyalty, retail, e-commerce.

### Введение

С каждым годом возникает большое количество информации, которое требуется человеку для взаимодействия с текущим миром. Технический прогресс не стоит на месте, и в

настоящее время создается все больше способов и инструментов обработки информации. Развитие технологий способствует возникновению тренда на цифровизацию, автоматизацию и цифровую трансформацию, модернизируя и искореняя традиционные процессы в торговле, производстве и оказании услуг в различных отраслях экономики [24]. Как следствие, передовые технологии, ранее доступные для узкой сферы людей, получили массовое распространение. Одним из таких направлений является дополненная реальность.

Дополненная реальность (англ. augmented reality, сокращенно «AR») представляет собой технологическое средство, позволяющее интегрировать виртуальные элементы в реальное окружение в реальном времени. Эта технология использует компьютерное моделирование для добавления визуальных слоев к реальному миру, улучшая его визуальное восприятие и предоставляя дополнительную информацию или интерактивные возможности. В настоящее время, чтобы воспользоваться продуктом, содержащим элементы дополненной реальности, достаточно иметь гаджет, обладающий камерой, дисплеем и минимально необходимыми программными возможностями.

Известно довольно много способов применения дополненной реальности, значительная часть которых апробирована и успешно внедрена в игровой индустрии, образовании, медицине и производстве, в связи с чем подавляющая часть научных работ посвящена изучению применимости дополненной реальности в этих сферах.

В связи с бурным ростом рынка электронной коммерции [11], во многом обусловленным пандемией [10], а также замедлением темпа экономической глобализации, влекущим для потребителей трудности в приобретении специфичных импортных товаров «здесь и сейчас» [12], у компаний, массово вышедших на этот рынок, возросла потребность в привлечении клиентов и сохранении их приверженности к своему бренду. Новости о новых маркетинговых инструментах, точно применяемых компаниями, получили виральное распространение, и одним из таких инструментов стало внедрение дополненной реальности в качестве средства визуализации товаров. Как показало время, во многих из случаев использование AR-технологии в каталоге интернет-магазина принесло компаниям, акцентирующим внимание на пользе и новаторстве данного решения, значительный прирост прибыли [20].

В данной статье будет рассмотрено влияние AR-технологии на поведение потенциальных покупателей; задачи, решаемые бизнесом за счет использования дополненной реальности; успешные примеры её применения для демонстрации товаров, а также выгоды и издержки, возникающие вследствие внедрения AR-инструментов.

### **Как использование AR-технологии влияет на поведение потребителей и их предпочтения в выборе товара или услуги**

Для повышения интереса клиентов к покупке товаров онлайн и облегчения принятия решений о покупке, многие компании уделяют особое внимание не основному продукту, а взаимодействию между клиентами и фронтальной линией организации. Для моделирования аспектов обслуживания, аналогичных покупательскому опыту в магазине, они используют технологии дополненной реальности [15].

Согласно эмоциональной теории продаж, основывающейся на биоинформационной психологии в сфере принятия решения о покупке товаров, потребители более расположены к товару, вызывающему у них наиболее сильные положительные эмоции [3]. Также люди, находящиеся в хорошем настроении, склонны принимать более рискованные решения [6], что



переводит их из потребителей, находящихся в стадии сомнения, в категорию покупателей. Это говорит о том, что зачастую функциональные характеристики продукта не являются решающим фактором при его приобретении.

Приобретению эмоций во многом способствует высокая степень интерактивности рассматриваемого объекта, вместе с тем повышающая качество доставленной до потребителя маркетинговой ценности товара или услуги [7]. В качестве примера интерактивных технологий можно привести использование технологии дополненной реальности, предоставляющую потребителям новый уровень взаимодействия с продуктами и услугами. Так, в результате одного из исследований роли интерактивности, обеспеченной AR-приложением, в формировании пользовательского опыта и намерении совершить покупку, было подтверждено положительное влияние использования AR на удовлетворенность клиентов и намерение приобрести товар [17]. В результате другого исследования о влиянии маркетинга дополненной реальности на лояльность к бренду было выявлено, что после пользования AR-приложения у пользователей улучшалось отношение к бренду-владельцу приложения [18].

Обращаясь к количественным исследованиям, можно провести результаты опроса, проведенного в 2019 году компанией Google на респондентах со всего мира об их отношении к дополненной реальности: опрос показал, что 66% людей заинтересованы в использовании AR для помощи при совершении покупок [21]. Нет сомнения, что период начала пандемии COVID-19 в значительной мере повлиял на эти цифры. Во время, когда ритейлеры по всему миру были вынуждены закрыть торговые точки на несколько месяцев, те из них, кто использовал AR для визуализации товаров, зафиксировали рост вовлеченности клиентов на 19% и увеличение коэффициента конверсии на 90% по сравнению с теми, кто AR не использовал [25]. Однако это не означает, что позитивный эффект от внедрения дополненной реальности пришелся только на время локдауна: исследование маркетингового издательства The Drum, выпущенное за год до начала пандемии, показало, что при использовании дополненной реальности вовлеченность увеличилась на 20%, а кликабельность увеличилась на 33% [14].

С другой стороны, не стоит забывать про существующую вероятность появления негативных реакций у потребителей на дополненную реальность. Так же, как AR может способствовать улучшению пользовательского опыта и способствовать покупке, этот инструмент может – в особенности, при недостаточной степени проработки, – вызывать у человека негативные эмоции и отторжение. К примеру, AR-инструменты зачастую используются для изменения внешнего вида потребителя или его окружения. Но искажение реальности, не соответствующее ожиданию пользователя, может повлечь нарушение основного элемента его идентичности – его внешности, и вызывать у человека тревожность, дисморфофобию [16]. Согласно одному из исследований, когда AR-инструменты увеличивали разрыв между тем, как участники хотели выглядеть, и тем, как, на их взгляд, они выглядели реально, они проявляли меньше сочувствия к себе и терпимости к собственным физическим недостаткам. Также отмечено, что такое различие оказывало наибольший негативный эффект на людей, ранее утверждавших о высоком уровне самооценки [9].

### **Задачи, решаемые за счет AR-визуализации товаров и услуг**

Любой бизнес всегда ориентирован на получение прибыли, решение о внедрении инноваций в дальнейшей перспективе так же будет на это направлено. Однако для понимания всех причинно-следственных связей следует конкретизировать, какие именно задачи закрывает AR-визуализации товаров и услуг.

#### *Демонстрация продукта и его соответствия окружению.*

За счет дополненной реальности клиенты могут визуализировать продукт в своем собственном пространстве и понять, как он работает и насколько его размеры, цвет и форма соответствуют реальному окружению. Особенно это актуально для продуктов, призванных составить комплект уже имеющимся вещам и атрибутам: одежде, аксессуарам, обуви, интерьеру в квартире. Эту же задачу решает AR-демонстрация некоторой косметики и средств по уходу, снижая эффект неопределенности при выборе товара. Ставя перед собой такую задачу, компания, внедряющая AR-инструмент, отрабатывает пользовательские возражения, которые можно обобщить как «я переживаю, что товар не будет соответствовать моему окружению или внешнему виду».

Так, американская компания Warby Parker выпустила приложение с AR-примеркой очков: эта функциональность была вдохновлена покупателями, которые долго не могли определиться с выбором и фотографировали себя, чтобы прислать фото на оценку друзьям. Другим примером могут служить приложения, направленные на демонстрацию виртуальной копии мебели в интерьере реальной квартиры: это IKEA Place, Wayfair, Houzz и многие другие. Компания IKEA, одна из первых, выпустившая свое приложение, в течение нескольких недель после релиза вирусно поднялась в списке поисковых запросов и попала в список 50 самых инновационных компаний от Fast Company [5].

#### *Предоставление возможности кастомизация и персонализация продукта.*

Некоторые продукты и услуги несут наибольшую ценность для клиента, когда имеют возможность быть видоизменены и изготовлены под его желания. С помощью AR-инструмента можно предоставить пользователю опцию персонализации продукта в соответствии с его предпочтениями [13]. За счет создания трехмерного цифрового двойника продукта и функций его настройки можно продемонстрировать потенциальному покупателю множество различных состояний продукта, из которых будет удобно выбирать наиболее подходящий. Эта задача подходит для визуализации товаров, изготавливаемых под заказ, а также услуг и изделий, имеющих несколько вариантов исполнения. Примерами таких продуктов являются автомобили, мебель; услуги по дизайну и ремонту, а также услуги парикмахерских и маникюрных салонов, косметика. Решая задачу кастомизации и настройки продукта, добавляя в AR-инструмент функции видоизменения товара или результата услуги, компания на этапе принятия решения о покупке снижает для клиента риск того, что товар не будет соответствовать его ожиданиям.

К брендам, помогающим пользователям с помощью дополненной реальности выбрать «продукт под себя», можно отнести косметические бренд L'Oreal. В 2014 году компания запустила первое приложение для виртуальной примерки макияжа. В 2019 году эта технология принесла 49% дополнительных продаж группе L'Oreal в ее интернет-магазинах [22].

В качестве другого примера можно привести немецкого производителя автомобилей Porsche, выпустившего в 2019 году на рынок приложение Porsche AR Visualizer, позволяющее

пользователям проектировать и настраивать свой собственный автомобиль Porsche. Возвращаясь к приложениям с AR-демонстрацией мебели, в данной категории можно отметить приложение компании Anthropologie, позволяющее протестировать мебель из розничного магазина и настроить внешний вид, используя всю обширную коллекцию стилей компании.

*Обучение продукту и доставка ценности.*

Визуализация продуктов, предоставляющая возможность взаимодействовать с ними, а также содержащая подсказки по этому взаимодействию, может донести ценность до тех пользователей, которые не получили ее на прежних этапах знакомства с продуктом. С помощью AR можно информировать пользователей о функциях и преимуществах продукта, при этом совершенно необязательно, что это требуется только для сложных, высокотехнологичных или специализированных продуктов. Функция обучения может быть полезной и для простых вещей, например игрушек или детских книг – если показать ребенку, как «оживает» его игрушка, то с большей вероятностью он попросит у родителей ее купить. Задача помощи в обучении продукту встает тогда, когда пользователь может не понимать, как пользоваться продуктом или какую пользу этот продукт может принести.

Так, в 2014 году банк Westpac New Zealand с помощью AR-функции в мобильном приложении делает более наглядным расходы держателя карты и предлагает подсказки с навигацией по интерфейсу [19]. Датская компания Lego Group в 2019 анонсировала и затем выпустила в продажу наборы конструкторов с поддержкой дополненной реальности. В 2021 году бренд Kinder компании от Ferrero запускает AR-приложение с виртуальными игрушками, копирующими те, что продаются вместе с их сладостями.

*Имитация услуг и их результатов.*

С помощью AR можно демонстрировать клиентам не только физические товары, но и сервис, а также результаты оказания услуг. Использование AR позволяет продемонстрировать, как услуги будут восприниматься при их приобретении. Пользователь сможет получить впечатления и положительный опыт от виртуальной версии услуги и захотеть перенести это в реальность. Такое направление использования дополненной реальности встречается у туристических операторов, владельцев развлекательных центров, спортивных залов, отелей, а также в культурных заведениях и достопримечательностях.

В 2018 году бренд отелей и курортов Marriott представил приложение с функциями дополненной реальности, позволяющее строить «порталы» на курорты Карибского бассейна и Мексики [23]. Согласно статье на сайте одной коммерческой компании, занимающейся предоставлением AR-инструментов для бизнеса, ссылающейся на официальный сайт Marriott, внедрение AR-элементов привлекло в Marriott на 20% больше новых клиентов и увеличило количество бронирований номеров на 12%.

**Преимущества и недостатки использования AR для визуализации товаров и услуг**

К двум основным традиционным способам визуализации товаров и услуг можно отнести размещение «физического» товара на витрине или использование онлайн-каталогов с описаниями, изображениями. Дополнительно можно отметить упоминание товаров в маркетинговых материалах: видеорекламе, буклетах, листовках. Однако те или иные способы в некоторых аспектах уступают такому интерактивному инструменту, как мобильное

приложение с функцией AR. Можно выделить несколько основных преимуществ использования дополненной реальности как средства визуализации товаров и услуг:

- Повышение уровня удовлетворенности и лояльности клиентов. За счет возможности взаимодействия между физической и виртуальной реальностью бизнесу удастся создавать уникальные, запоминающиеся впечатления для своих клиентов. Это ведет к увеличению вовлеченности, удовлетворенности, лояльности клиентов и, в итоге, к росту самого бизнеса.
- Способ рассказать больше о продукте. AR может помочь клиентам принимать более обоснованные решения. С помощью дополненной реальности потенциальные покупатели могут увидеть больше деталей продукта, изучить его функции из разных углов или даже увидеть, как им можно пользоваться в реальной жизни. Это позволяет клиентам лучше понять, что они покупают, что, в свою очередь, приводит к уменьшению вероятности разочарования и возвратов товаров. Например, известны случаи, когда за счет функции AR-примерки одежды количество возвратов сократилось на 40% [4].
- Сокращение цикла продаж и затрат. Инструменты дополненной реальности в продажах помогают бизнесу сокращать цикл продаж и затраты, обеспечивая возможность демонстрации товаров и услуг клиентам удалённо и в любое время, что избавляет от необходимости хранения полного ассортимента продуктов в выставочных залах. Это помогает сэкономить время и деньги как продавца, так и клиента, а также ускорить процесс покупки.
- Повышение дифференциации бренда и имиджа компании. Компании, использующие передовые технологии для улучшения потребительского опыта, воспринимаются как более инновационные и внимательные к потребностям своих клиентов. Это создает положительное отношение к бренду и помогает выгодно выделиться от конкурентов [2].

Однако, несмотря на значительные преимущества внедрения технологии в процесс продажи, решение об использовании AR-инструментов влечет свои издержки. На данный момент известно множество успешных кейсов использования AR-инструментов в продажах товаров и услуг, некоторые из которых были упомянуты выше, но подавляющая часть из них принадлежит лишь крупным компаниям. Истории внедрения дополненной реальности на этапах продажи среди малого и среднего бизнеса встречаются довольно редко, отчасти обосновать это можно рядом недостатков состояния самой технологии на данный момент:

- Высокая стоимость разработки AR-приложения. Для разработки может потребоваться привлечение человеческих ресурсов, покупка программного обеспечения и специализированных аппаратных гарнитур. Более того, на приложение накладывается много технических требований: оно должно быть совместимо с большинством мобильных устройств, быстро работать у всех пользователей, детально и качественно визуализировать товары.
- Необходимость поддержки и обновления приложения. После выпуска приложения требуется постоянно поддерживать его доступность и обеспечивать обновления контента [8]. В случае расширения ассортиментов товаров компании в реальном мире соответствующие изменения потребуется вносить и в виртуальную среду:

оцифровать, добавить трехмерные модели новых товаров, убрать из приложения вышедшие из продажи товары.

- Конфиденциальность и безопасность данных в AR-приложениях. Компаниям, предоставляющим клиентам такой способ просмотра товаров и услуг, необходимо принять дополнительные меры для соблюдения закона о защите персональных данных [1]. Помимо этого нельзя забывать о стандартной защите от несанкционированного доступа и, если через приложения будут проводиться платежи, обеспечить их безопасность.

### **Заключение**

В данной статье были выделены и рассмотрены задачи, решаемые при использовании дополненной реальности в качестве визуализации товаров и услуг, преимущества данной технологии, заключающиеся во многом в её влиянии на поведение потребителя, и недостатки, включающие в себя высокие затраты на внедрение AR-инструментов и их поддержку. В целом, AR-технологии представляют собой перспективное направление для бизнеса, способное значительно повысить уровень вовлеченности клиентов и увеличить продажи, но требующее тщательного подхода к анализу рисков и планирования финансовых затрат и прочих ресурсов, необходимых для поддержания качественного оказания услуги потенциальным покупателям.

### **Список литературы**

1. Афанасьева Е. А. Правовое регулирование виртуальной и дополненной реальности (обзор)//Право будущего: Интеллектуальная собственность, инновации, Интернет. - 2018. - №1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/pravovoe-regulirovanie-virtualnoy-i-dopolnennoy-realnosti-obzor> (дата обращения: 01.04.2024).
2. Возмилова А.О. Ключевые тренды SMM-продвижения на рынке бьюти-услуг//Вестник Академии знаний. - 2023. - №1 (54).
3. Исаев А.А. Принятие решения о покупке: эмоциональный аспект//Практический маркетинг. - 2015. - №5(219). - С. 43-53.
4. Касьянова, А. В., Квач Н.М. Виртуальная примерочная в современной Интернет-торговле//Социально-гуманитарные проблемы образования и профессиональной самореализации (Социальный инженер-2022): Сборник материалов Всероссийской научной конференции молодых исследователей с международным участием, Москва, 12–16 декабря 2022 года. Том Часть 5. –2022. – С. 222-227.
5. Кочетова Е. В. Использование технологий виртуальной и дополненной реальности в качестве инструментов инновационного маркетинга на примере компании IKEA//StudNet. - 2020. - №10. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ispolzovanie-tehnologiy-virtualnoy-i-dopolnennoy-realnosti-v-kachestve-instrumentov-innovatsionnogo-marketinga-na-primere-kompanii> (дата обращения: 06.05.2024).
6. Патоша О. И., Варавина Т. Ю. Влияние настроения на принятие решения о покупке высокотехнологичной продукции//Психология. Журнал ВШЭ.. - 2013. - №4. - С. 43-53.
7. Татарinov К.А. Инновационное взаимодействие с клиентами в интерактивных средствах массовой информации//Вопросы инновационной экономики. - 2020. - №1. - С. 483-496.

8. Утегенов Н. Б. Виртуальная и дополненная реальности (VR и AR)//Universum: технические науки. - 2022. - №7-1(100). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/virtualnaya-i-dopolnennaya-realnosti-vr-i-ar> (дата обращения: 01.01.2024).
9. Яворник А., Мардер Б., Уорлоп Л., Миццетти М. «Я не я»: чем опасна дополненная реальность. Harvard Business Review Russia. Электронный ресурс: <https://hbr-russia.ru/innovatsii/issledovaniya/ya-ne-ya-chem-opasna-dopolnennaya-realnost/> (дата обращения 01.04.2024).
10. Влияние пандемии COVID-19 на российский рынок интернет-торговли//Росконгресс URL: <https://roscongress.org/materials/vliyanie-pandemii-covid-19-na-rossiyskiy-rynok-internet-torgovli/> (дата обращения: 02.04.2024).
11. Как поменялся рынок интернет-торговли в 2023 году. Инфографика.//РБК URL: [https://www.rbc.ru/technology\\_and\\_media/12/02/2024/65c64b479a794726261d49f7](https://www.rbc.ru/technology_and_media/12/02/2024/65c64b479a794726261d49f7) (дата обращения: 01.04.2024).
12. Россияне стали заказывать товары из-за границы по интернету в 3,5 раза чаще. Вот что они покупают//Комсомольская правда URL: <https://www.kp.ru/daily/27553/4878622/> (дата обращения: 02.04.2024).
13. David A., Al Mamun M.R., Peak, D., Blankson, C. AR Simulations in Real Customer Environments: The Effect of Position-Relevance on Purchase Intention in a Prominent Mobile Retail App // ICIS 2018 Proceedings.. – 2018
14. Eskenazi M. Three things marketers should know about adopting augmented reality//The Drum URL: <https://www.thedrum.com/opinion/2018/03/29/three-things-marketers-should-know-about-adopting-augmented-reality> (дата обращения: 01.04.2024).
15. Hilken T., De ruyter K., Chylinkski M., Mahr D., Keeling D. Augmenting the eye of the beholder: exploring the strategic potential of augmented reality to enhance online service experiences//Journal of the Academy of Marketing Science. - 2017. - №45. - С. 884-905.
16. Maymone M.B.C., Rajanala S., Vashi N.A. Selfies—Living in the Era of Filtered Photographs//JAMA Facial Plastic Surgery. - 2019. - №20(6). - С. 443-444.
17. Poushneh A., Vasquez-Parraga A.Z. Discernible impact of augmented reality on retail customer's experience, satisfaction, and willingness to buy.//Journal of Retailing and Consumer Services. - 2020. - №34. - С. 229-234.
18. Rauschnabel P.A., Felix R., Hinsch C. Augmented reality marketing: How mobile AR-apps can improve brands through inspiration.//Journal of Retailing and Consumer Services. - 2019. - №49. - С. 43-53.
19. Augmenting away online, offline barriers.//Westpac URL: <https://www.westpac.com.au/news/in-depth/2019/01/augmenting-away-online-offline-barriers/> (дата обращения: 02.04.2024).
20. Augmented Reality (AR) Market//Fortune business insights URL: <https://www.fortunebusinessinsights.com/augmented-reality-ar-market-102553> (дата обращения: 01.04.2024).
21. Google Consumer AR Survey, Global, 2019.//Think with Google URL: <https://www.thinkwithgoogle.com/consumer-insights/consumer-trends/ar-shopping-interest-statistics/> (дата обращения: 01.04.2024).

22. L'Oréal Expands AR Capabilities To Garnier Products//Retail TouchPoints URL: <https://www.retailtouchpoints.com/topics/customer-experience/l-oreal-expands-ar-capabilities-to-garnier-products> (дата обращения: 02.04.2024).
23. Marriott Launches AR App to Help Guests Explore Caribbean, Mexico Resorts//Hospitality Technology URL: <https://hospitalitytech.com/marriott-launches-ar-app-help-guests-explore-caribbean-mexico-resorts> (дата обращения: 02.04.2024).
24. The Data Age Is Here. Are You Ready?//Splunk URL: [https://www.splunk.com/en\\_us/campaigns/data-age.html](https://www.splunk.com/en_us/campaigns/data-age.html) (дата обращения: 01.04.2024).
25. Why retailers should embrace augmented reality in the wake of COVID-19 // Retail Customer Experience URL: <https://www.retailcustomerexperience.com/articles/why-retailers-should-embrace-augmented-reality-in-the-wake-of-covid-19/> (дата обращения: 01.04.2024).

## References

1. Afanasyeva E. A. Legal regulation of virtual and augmented reality (review) // Law of the future: Intellectual property, innovations, the Internet. - 2018. - No.1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/pravovoe-regulirovanie-virtualnoy-i-dopolnennoy-realnosti-obzor> (date of reference: 04/01/2024).
2. Vozmilova A.O. Key trends of SMM promotion in the market of beauty services // Bulletin of the Academy of Knowledge. - 2023. - №1 (54).
3. Isaev A.A. Making a purchase decision: the emotional aspect // Practical marketing. - 2015. - №5(219). - Pp. 43-53.
4. Kasyanova, A.V., Kvach N.M. Virtual fitting room in modern online commerce // Socio-humanitarian problems of education and professional self-realization (Social engineer-2022) : Collection of materials of the All-Russian scientific Conference of young researchers with international participation, Moscow, December 12-16, 2022. Volume Part 5. -2022. – pp. 222-227.
5. Kochetova E. V. The use of virtual and augmented reality technologies as innovative marketing tools on the example of IKEA // StudNet. - 2020. - No.10. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ispolzovanie-tehnologiy-virtualnoy-i-dopolnennoy-realnosti-v-kachestve-instrumentov-innovatsionnogo-marketinga-na-primere-kompanii> (date of reference: 05/06/2024).
6. Patosha O. I., Varavina T. Y. The influence of mood on the decision to purchase high-tech products // Psychology. HSE Journal.. - 2013. - No.4. - pp. 43-53.
7. Tatarinov K.A. Innovative interaction with clients in interactive media // Issues of innovative economics. - 2020. - No. 1. - pp. 483-496.
8. Utegenov N. B. Virtual and augmented reality (VR and AR) // Universum: technical sciences. - 2022. - №7-1(100). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/virtualnaya-i-dopolnennaya-realnosti-vr-i-ar> (date of application: 01.01.2024).
9. Javornik A., Marder B., Worlop L., Mizzetti M. "I am not me": what is the danger of augmented reality. Harvard Business Review Russia. Electronic resource: <https://hbr-russia.ru/innovatsii/issledovaniya/ya-ne-ya-chem-opasna-dopolnennaya-realnost> / (accessed 04/01/2024).

10. The impact of the COVID-19 pandemic on the Russian e-commerce market // Roscongress URL: <https://roscongress.org/materials/vliyanie-pandemii-covid-19-na-rossiyskiy-rynok-internet-torgovli/> (date of access: 04/02/2024).
11. How the e-commerce market has changed in 2023. Infographics. // RBC URL: [https://www.rbc.ru/technology\\_and\\_media/12/02/2024/65c64b479a794726261d49f7](https://www.rbc.ru/technology_and_media/12/02/2024/65c64b479a794726261d49f7) (date of application: 04/01/2024).
12. Russians began to order goods from abroad over the Internet 3.5 times more often. Here's what they buy // Komsomolskaya Pravda URL: <https://www.kp.ru/daily/27553/4878622/> (date of access: 04/02/2024).
13. David A., Al Mamun M.R., Peak, D., Blankson, C. AR Simulations in Real Customer Environments: The Effect of Position-Relevance on Purchase Intention in a Prominent Mobile Retail App // ICIS 2018 Proceedings.. – 2018
14. Eskenazi M. Three things marketers should know about adopting augmented reality // The Drum URL: <https://www.thedrum.com/opinion/2018/03/29/three-things-marketers-should-know-about-adopting-augmented-reality> (date of application: 04/01/2024).
15. Hilken T., De ruyter K., Chylinski M., Mahr D., Keeling D. Augmenting the eye of the beholder: exploring the strategic potential of augmented reality to enhance online service experiences // Journal of the Academy of Marketing Science. - 2017. - No.45. - pp. 884-905.
16. Maymone M.B.C., Rajanala S., Vashi N.A. Selfies—Living in the Era of Filtered Photographs // JAMA Facial Plastic Surgery. - 2019. - №20(6). - Pp. 443-444.
17. Poushneh A., Vasquez-Parraga A.Z. Discernible impact of augmented reality on retail customer's experience, satisfaction, and willingness to buy. // Journal of Retailing and Consumer Services. - 2020. - No.34. - pp. 229-234.
18. Rauschnabel P.A., Felix R., Hinsch C. Augmented reality marketing: How mobile AR-apps can improve brands through inspiration. // Journal of Retailing and Consumer Services. - 2019. - No.49. - pp. 43-53.
19. Augmenting away online, offline barriers. // Westpac URL: <https://www.westpac.com.au/news/in-depth/2019/01/augmenting-away-online-offline-barriers/> (accessed 02.04.2024).
20. Augmented Reality (AR) Market // Fortune business insights URL: <https://www.fortunebusinessinsights.com/augmented-reality-ar-market-102553> (accessed: 04/01/2024).
21. Google Consumer AR Survey, Global, 2019. // Think with Google URL: <https://www.thinkwithgoogle.com/consumer-insights/consumer-trends/ar-shopping-interest-statistics/> (date of access: 04/01/2024).
22. L'Oréal Expands AR Capabilities To Garnier Products // Retailers TouchPoints URL: <https://www.retailtouchpoints.com/topics/customer-experience/l-oreal-expands-ar-capabilities-to-garnier-products> (accessed: 04/02/2024).
23. Marriott Launches AR App to Help Guests Explore Caribbean, Mexico Resorts // Hospitality Technology URL: <https://hospitalitytech.com/marriott-launches-ar-app-help-guests-explore-caribbean-mexico-resorts> (date of application: 04/02/2024).
24. The Data Age Is Here. Are You Ready?//Splunk URL: [https://www.splunk.com/en\\_us/campaigns/data-age.html](https://www.splunk.com/en_us/campaigns/data-age.html) (accessed: 04/01/2024).



25. Why retailers should embrace augmented reality in the wake of COVID-19 // Retail Customer Experience URL: <https://www.retailcustomerexperience.com/articles/why-retailers-should-embrace-augmented-reality-in-the-wake-of-covid-19> / (date of access: 04/01/2024).
-



Международный журнал информационных технологий и  
энергоэффективности

Сайт журнала:

<http://www.openaccessscience.ru/index.php/ijcse/>



УДК 004.9

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ МОДЕЛИ ИНТЕГРИРОВАННОГО ОБУЧЕНИЯ НА РАБОЧЕМ МЕСТЕ(WIL) ДЛЯ ОБЪЕДИНЕНИЯ УСИЛИЙ ПРАВИТЕЛЬСТВА, ОБРАЗОВАНИЯ И ПРОМЫШЛЕННОСТИ В ПОДГОТОВКЕ ИНЖЕНЕРНЫХ КАДРОВ

**Жумадир Н.**

*КАЗАХСТАНСКО-БРИТАНСКИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ, Алматы, Казахстан,  
(50000, Казахстан, Алматы, ул. Толе би, 59), e-mail: nadirazumadir@gmail.com*

Никто из нас не остается равнодушным к проблемам высшего образования, поскольку образование является частью экономики и жизни. Одним из важнейших аспектов является подготовка инженерных кадров, которая играет жизненно важную роль в успехе различных отраслей промышленности. Однако этот процесс сложен и включает в себя множество заинтересованных сторон с различными интересами и приоритетами. Кроме того, становится очевидной растущая значимость разрыва между высшим образованием и промышленностью, поскольку многие выпускники с трудом находят работу в выбранной ими области. В данной исследовательской работе предлагается комплексная модель реформирования системы высшего образования, учитывающая интересы и мотивации всех заинтересованных сторон, включая образовательные учреждения, промышленность и правительство. Предлагаемое решение предполагает внедрение интегрированной с работой программы обучения и внедрение схемы финансового стимулирования для научно-исследовательских отделов внутри компаний. Этот инклюзивный подход направлен на поддержку успешного трудоустройства выпускников инженерных специальностей, стимулирование роста промышленности и содействие общему развитию экономики.

Ключевые слова: Индикатор типа Майерса-Бриггса, модели машинного обучения, инструментарий естественного языка.

## INVESTIGATING THE EFFECTIVENESS OF WORK-INTEGRATED LEARNING MODEL IN CONNECTING GOVERNMENT, EDUCATION AND INDUSTRY IN TRAINING ENGINEERING PERSONNEL

**Zhumadir N.**

*KAZAKH-BRITISH TECHNICAL UNIVERSITY, Almaty, Kazakhstan (50000, Kazakhstan, Almaty,  
st. Tole bi 59), e-mail: nadirazumadir@gmail.com*

Research in the field of personality prediction is aimed at identifying and understanding subtle differences in behavioral tendencies, cognitive patterns and emotional manifestations of a person. This study uses a wide range of methods, such as psychological assessments, behavior observations, and advanced computer modeling, to predict and identify a person's unique personality traits. Using the Natural Language Toolkit (NLTK), text data from messages is processed and converted into numerical characteristics suitable for analysis using machine learning. The main purpose of this study is to determine the type of personality of a person based on the Myers-Briggs type indicator (MBTI) based on his posts on social networks, using a combination of psychological knowledge and computational methods. This approach involves analyzing and categorizing the distinctive features and characteristics corresponding to each MBTI category. By integrating machine learning models with text analysis, this work aims to improve understanding of human behavior and promote the application of machine learning in predictive personality assessment. The findings are expected to make significant contributions to the fields of psychology and personalized applications driven by artificial intelligence, contributing to a deeper understanding of individual behaviors and personality profiling.

Keywords: Myers-Briggs type indicator, machine learning models, natural language toolkit.

## Introduction

This study pertains to the interdisciplinary area of Educational Sciences and Engineering Education, with a strong emphasis on the integration of practical work experiences within academic settings. It explores the nexus between higher education, industry, and government in training engineering personnel, an area critical to both economic development and technological advancement. The relevance of the problem addressed in this article is significant, as it highlights a critical gap in higher education systems—specifically the disconnect between the skills taught in universities and the requirements of the industry. This gap often leaves graduates unprepared for the demands of their respective fields, impacting their employability and career progression. The study explores how work-integrated learning (WIL) programs can bridge this gap, ensuring that graduates are better prepared to enter the workforce, which in turn supports economic growth and innovation across industries. This alignment is increasingly critical as industries evolve rapidly, requiring a workforce that is adaptable, skilled, and ready to meet emerging challenges. This research paper aims to address this problem by examining the relevance of implementing a Work Integrated Learning (WIL) program. To substantiate the issue, a survey(<https://forms.gle/G51w7QbrcK9n69jS9>) was conducted among alumni groups from various universities and individuals aged 30 and above, comparing their experiences. The survey focused on factors such as employment in their field, the relevance of their university education to their current job, additional education or training pursued, and the impact of work experience on job prospects. The survey results revealed that 50 percent of respondents believed that their universities or colleges could not adequately prepare them for the labor market, while the other half disagreed with this opinion. Interestingly, in Figure 1 a higher percentage (73.5%) of respondents indicated that they could only find employment after receiving additional education or training to be qualified for work in their industry. This finding highlights the importance of continuous learning and the need for educational programs to align with industry requirements. When asked about the impact of prior work experience, such as internships or cooperative programs, on finding a position in their field, 73.5% of respondents reported a positive influence, while 26.5% had a negative experience. These results indicate that work-integrated learning, such as internships and cooperative programs, can be beneficial in facilitating career opportunities and should be integrated into higher education programs.

Did you continue your studies or receive additional training after graduation in order to qualify for work in your field? Продолжали ли вы обучени...алифицироваться для работы в своей области?  
98 ответов

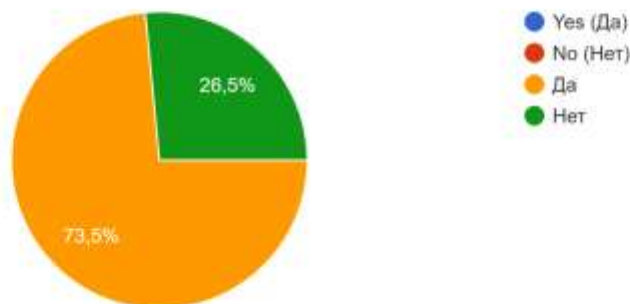


Figure 1 – Respondents job offer percentage diagram after retraining programs.

Furthermore, the survey revealed that many individuals (57.8%) had to work in positions unrelated to their field due to a lack of available vacancies in their area. This suggests that businesses often prefer to hire middle-level employees rather than junior-level individuals, creating challenges for recent graduates. Addressing this discrepancy and finding ways to bridge the gap between education and industry expectations is essential for creating a more favorable employment landscape for graduates. By incorporating these survey findings and considering the interests and perspectives of industry and government stakeholders, this research aims to contribute to the enhancement and optimization of work-integrated learning programs. The findings indicate a need for more internships and training programs to facilitate employment in individuals' specialties after graduation. Moreover, employers' expectations often surpass the scope of university curricula for undergraduates, hindering graduates' employability. Notably, the preceding generation (over 35) demonstrates higher employment rates in their respective fields compared to the younger generation. With the understanding that higher education should adapt to meet industry demands, this research paper explores the implementation of a WIL program as a potential solution. By bridging the gap between academia and industry through practical experiences and industry-specific training, graduates can enhance their employability and meet the higher expectations of employers. This research aims to shed light on the challenges faced by graduates and provide recommendations to improve the alignment between education and industry, fostering a workforce equipped with the necessary skills to thrive in their chosen fields.

### **Literature review**

Numerous studies have examined the impact of work-integrated learning (WIL) programs and their influence on various aspects of education and employability. Research conducted by C.Smith (2012) [1] explored the outcomes of implementing WIL programs in engineering education, highlighting the positive effects on students' acquisition of practical skills, industry knowledge, and professional development. Similarly, D.Jackson et al. (2015) [2] investigated the influence of WIL on graduates' employability, revealing a significant correlation between work experience gained through internships or cooperative programs and improved job prospects in their chosen field as shown in Figure 2.

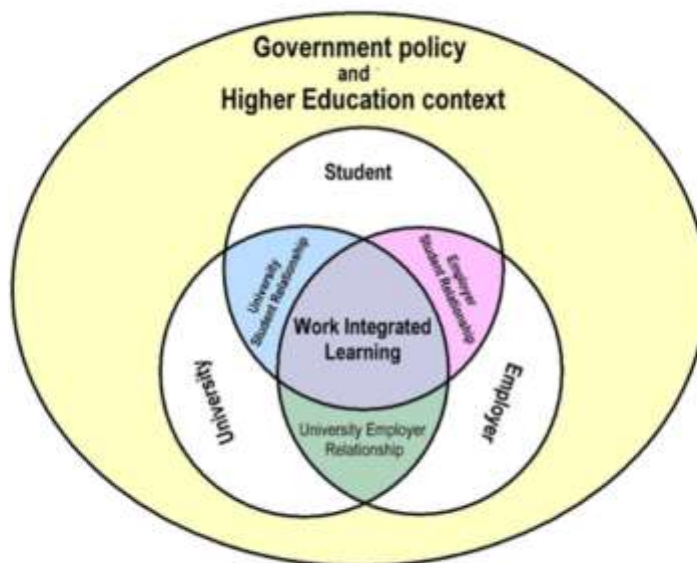


Figure 2 – Relationship between WIL stakeholders.

However, it is essential to acknowledge the potential limitations and challenges associated with WIL programs. J.Orrell [3] identified a few areas of concern, such as the varying quality of work experiences provided to students, the need for effective mentorship and supervision, and the potential mismatch between the skills acquired during WIL and the evolving demands of the industry. These findings emphasize the importance of designing and implementing WIL programs that align with industry expectations and provide students with relevant, up-to-date skills.

Moreover, research by Vailasseri and Long (2021) [4] delved into the effectiveness of integrating theoretical coursework with practical experiences, highlighting the importance of creating a cohesive learning environment that fosters the application of knowledge gained through classroom instruction. They found that a well-designed WIL program can bridge the gap between theory and practice, enhancing students' understanding and preparing them for the challenges of the professional world. To further strengthen the argument for the implementation of WIL programs, it is crucial to consider the perspectives of employers. A study by West and Stirling [5] explored employers' perceptions of graduates who had participated in WIL programs, revealing a positive impact on their employability and readiness for the workplace. Employers appreciated the practical skills, problem-solving abilities, and adaptability demonstrated by these graduates, underscoring the value of WIL in developing industry-relevant competencies. But, this study draws attention to the importance of feedback in WIL partnerships and how it can influence student learning and the success of WIL programs. The authors propose an approach to formalizing feedback in WIL partnerships, which includes the development of shared understandings, the establishment of feedback structures, and the utilization of feedback to support ongoing learning and improvement. [6]

Additionally, studies have examined the interests and perspectives of industry and government stakeholders in relation to work-integrated learning (WIL) programs. Wood, Zegwaard and Fox-Turnbull [7] investigated industry perspectives on WIL programs in engineering, emphasizing the importance of aligning programs with industry needs. Dean (2020) [8] explored government support for WIL, considering policy considerations and implications for fostering collaboration. Furthermore,

the authors [9] describe the methodology of the study, which involved interviews with students, faculty, and industry partners to explore their experiences with WIL. The study identified several benefits of WIL, including increased student engagement, improved practical skills, enhanced employability, and stronger industry partnerships. However, the authors also noted some challenges, such as managing student workload and maintaining consistency in the quality of WIL experiences. Hansen and Rostiyanti examined the alignment of WIL programs with industry needs, highlighting the benefits of effective collaboration between stakeholders. These studies contribute to understanding the interests of industry and government stakeholders and provide insights into strategies for enhancing the relevance and effectiveness of WIL programs. [10]

### **Purpose and objectives of the study**

The primary aim of the study is to develop and evaluate a comprehensive work-integrated learning model that effectively connects government, education institutions, and industry to enhance the training and employability of engineering personnel.

Objectives of the study:

1. To assess the current state of engineering education in relation to industry needs and identify key gaps in skills and knowledge among graduates.
2. To design and implement a work-integrated learning program that incorporates the interests and motivations of all stakeholders, including educational institutions, industry, and government.
3. To propose policy recommendations and strategies for integrating fiscal stimulation measures to support research and development efforts within companies, further enhancing the effectiveness of WIL programs.

### **Methods and Materials**

In this paper, we model a schema to address the goal of reforming the higher education system by integrating the work-integrated learning model with fiscal stimulation of research and development (R&D). To conduct the research on the effectiveness of the integrated work-integrated learning model and its impact on company efficiency, a mixed-methods approach was utilized in a case study of retraining programs as a small simulation of WIL. This involved surveys administered to two distinct groups: graduates who completed the program and local workers who observed the program's implementation. The surveys aimed to gather data on various aspects of the program's effectiveness and its implications for the industry. We will get a result by following the steps shown in Figure 3.

We outline the process of constructing the survey questions used in our research. We began by identifying the specific areas of interest that we wanted to measure, such as job satisfaction, training effectiveness, and career growth. Subsequently, we carefully crafted clear and concise statements, each focusing on a particular aspect of interest. These statements aimed to elicit respondents' opinions and attitudes towards the retraining program. To ensure consistency and ease of interpretation, we opted for a 5-point Likert scale for all the questions. This scale provided respondents with options ranging from "Strongly Disagree" to "Strongly Agree," allowing them to express their viewpoints effectively. Importantly, we maintained a balanced scale by incorporating an equal number of positive and negative response options. By following these steps, we established a well-constructed Likert

scale survey. This approach provided a clear framework for participants to convey their thoughts and enabled us to gather valuable data on the effectiveness of the retraining program.

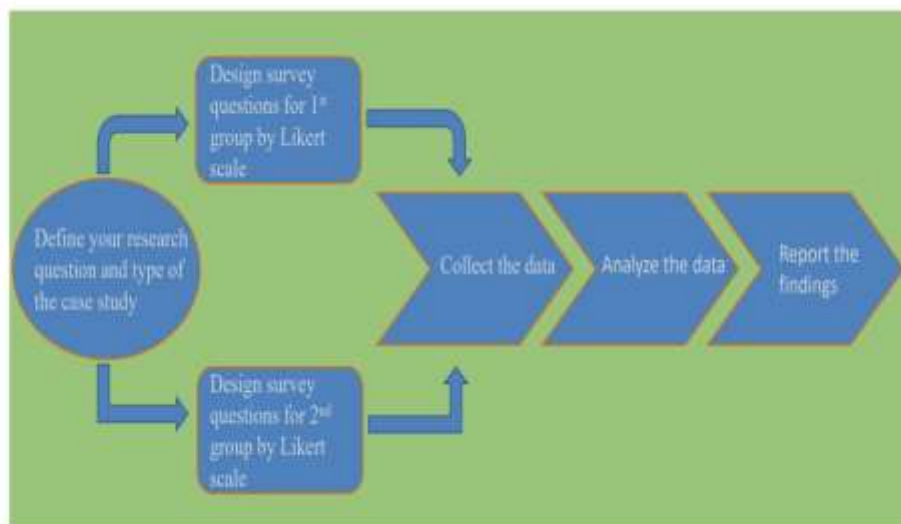


Figure 3 – Methodology flow

To gather the necessary data for this research, separate surveys were administered to the graduates (<https://forms.gle/v99DwJ3pgCRxkET19>) of the "Jusan Singularity" program and the local workers (<https://forms.gle/aQS6cmjYu4ZXCMaK7>) of the company. The surveys were distributed electronically using an online survey platform. Participants were provided with a unique link to access the survey. The survey responses were collected anonymously to ensure confidentiality and encourage honest feedback. Participants were instructed to respond to each question using the provided Likert scale, indicating their level of agreement or preference. Upon completion, the survey responses were automatically recorded and stored in a secure database. Systematic approach was followed to analyze the collected survey data. The survey responses were collected and organized into a structured format, such as a spreadsheet as shown in Figure 4 and Figure 5. Each response option was assigned a numerical value to facilitate quantitative analysis.

As we analyzed the data using descriptive statistics, we followed a series of steps to identify trends and patterns. By examining the mean values of each question, we were able to observe the most commonly chosen response options, providing us with an overview of the overall trend in the data. Our findings revealed that participants consistently leaned towards certain responses, indicating a discernible pattern in their opinions. Furthermore, we looked closely at the standard deviation to assess the spread of the responses. Through this analysis, we discovered that the data points were relatively tightly clustered, suggesting a high level of agreement among the participants. This reinforced the presence of a clear pattern in their collective responses. During our analysis, we also identified a few outliers, which were responses that significantly deviated from the majority. These outliers were carefully examined to gain a deeper understanding of the underlying factors influencing participant perspectives. Although they were minimal in number, they provided valuable insights into the diversity of opinions within the surveyed population. By comparing the results of different questions, we were able to uncover intriguing relationships and correlations. For instance, we



observed a strong positive correlation between participants' perceived job satisfaction and their satisfaction with work life balance. This connection highlighted the importance of maintaining a healthy work-life balance in fostering overall job satisfaction.

During our research, we utilized an online z-test calculation application to analyze the data and compare the responses of the graduates and the local workers.

Программы переподгот	Такие программы полез	Ваши технические навь
5	5	1
4	3	4
4	4	4
5	1	5
5	3	4
5	5	1
4	2	4
4	3	5
4	4	4
5	3	5
5	4	5
5	3	3
4,205882353	3,441176471	4,117647059
0,8449282474	1,10621321	1,037616905
	3,921568627	
	1,050094522	

Figure 4 – Result of Local Workers.

Ранее были ли у вас пр	Считаете ли вы, что пос	Как вы оцениваете в целом программы перепод
2	4	4
3	3	4
5	2	4
5	3	5
2	4	4
4	4	5
5	5	5
3	5	4
4	5	5
4	5	5
5	4	4
3	2	3
3,894736842	3,789473684	4,210526316
1,100239208	0,9763280055	0,7132825035
		1,100239208

Figure 5 – Result of Graduates of retraining program.

The purpose of the z test was to determine if there were any significant differences between the two groups in terms of their perceptions and experiences. And we got p-value result as 0.023. Also, constructed Likert diagram as shown in Figure 6.



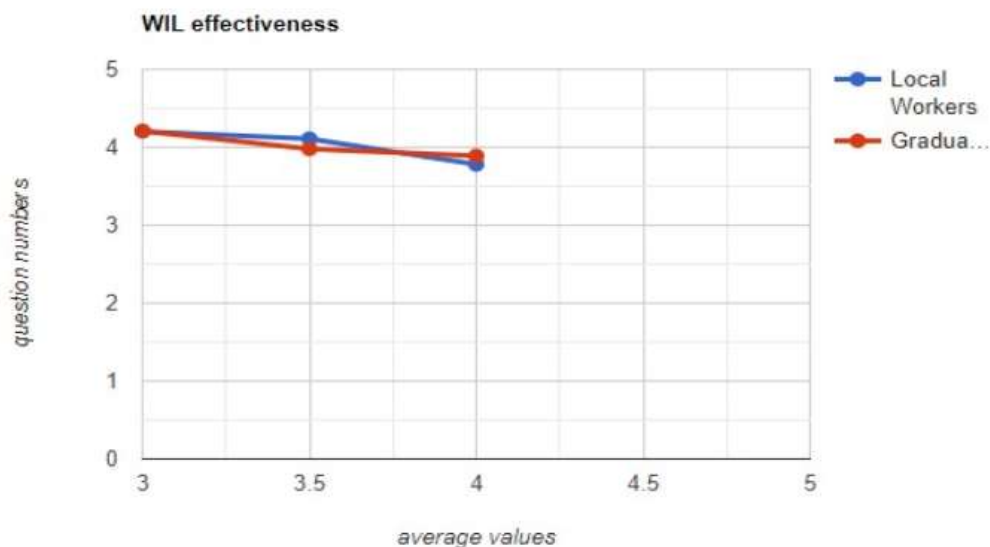


Figure 6 – Line Graph of effectiveness.

### Discussion of results

Based on the survey results and analysis, it is evident that retraining programs, have proven to be effective for both students and the industry as a whole. The data shows a positive impact of the program in bridging the gap between education and the labor market. Graduates who participated in the program reported improvements in their technical skills and expressed satisfaction with their work in the industry.

However, the survey also revealed some challenges regarding the interests and benefits of the industry. While the program was successful in addressing hiring process issues, there is a need for further integration of work-integrated learning (WIL) principles. WIL aims to combine theoretical education with practical work experience, and it requires industry involvement in providing mentors, resources, and project spaces for students to apply their knowledge in real world settings.

To enhance the effectiveness of WIL, a proposed solution is to integrate it into the fiscal stimulation of research and development (R&D) initiatives. By doing so, the government can incentivize industries to actively participate in WIL programs by offering financial support and incentives. This collaboration between WIL and fiscal stimulation methods would create a symbiotic relationship, benefiting both students and industry.

The expected result of this integration is a well-structured collaboration between educational institutions, students, and industry partners. The government's fiscal stimulation of R&D would encourage industries to allocate resources towards WIL programs, ensuring the availability of mentors, equipment, and dedicated spaces for students to engage in meaningful projects. This collaboration would not only improve the educational experience for students but also contribute to the innovation and growth of industries.

By presenting this expected result as a schema of collaboration as shown in Figure 7 between WIL and fiscal stimulation methods, it becomes clear that the integration of these approaches can address the limitations identified in the survey results. It provides a framework for nurturing talent,

fostering industry-academic partnerships, and driving innovation through practical learning experiences.

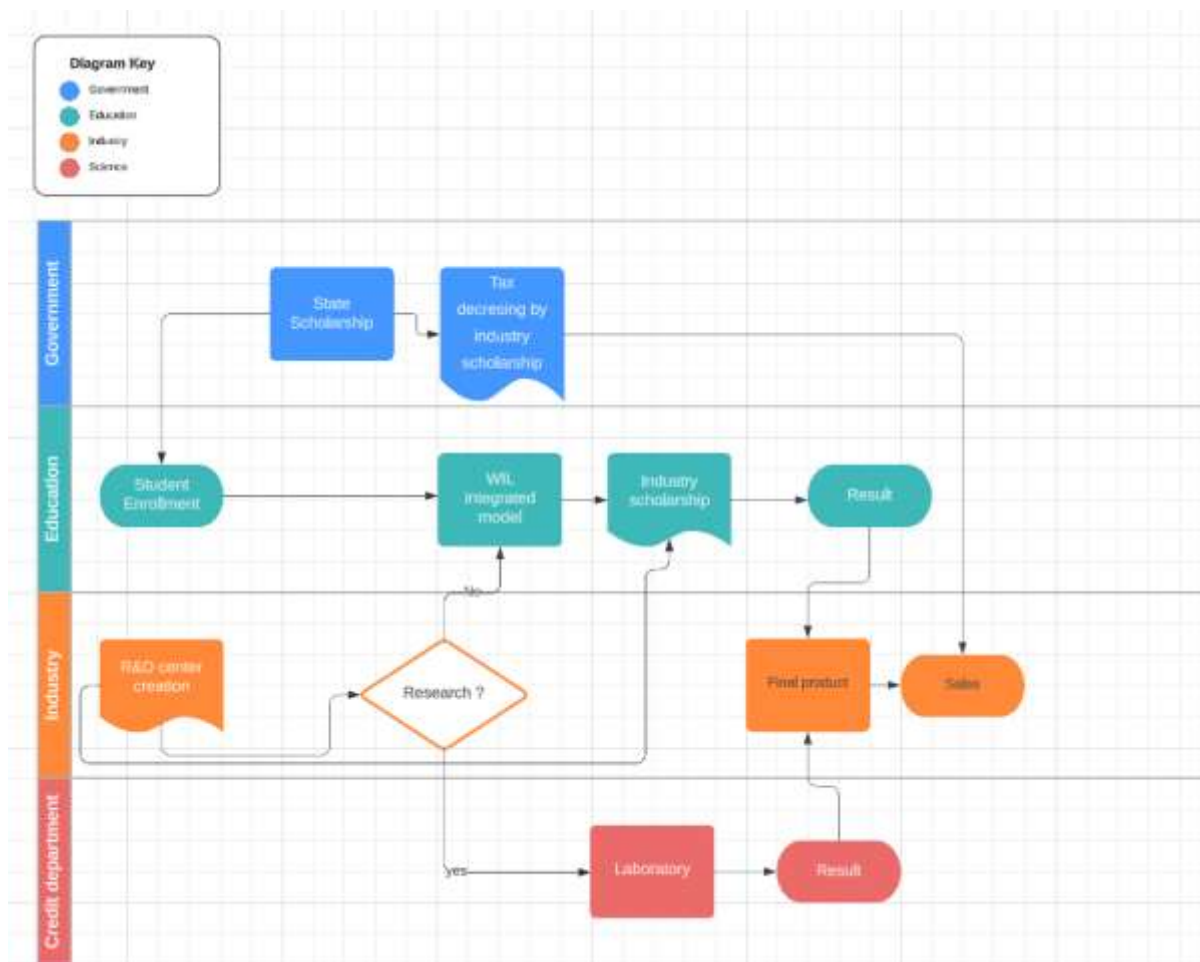


Figure 7 – WIL collaboration with Government fiscal stimulation.

## Conclusion

This comprehensive approach is proposed to facilitate the smooth transition of engineering graduates into the workforce, foster industry growth, and contribute to overall economic development. The survey results indicate no significant difference in satisfaction levels between the two survey groups, suggesting that work-integrated learning (WIL) can serve as a partial substitute for traditional methods. By addressing the limitations of WIL, we propose a collaborative integration with a fiscal stimulation model inspired by the UK scheme. This model establishes a mutually beneficial collaboration among industry, education, and government. Industry provides real projects or research opportunities to students and offers them scholarships. Students then develop these projects and deliver results to the industry, which subsequently produces and contributes taxes from their products to the government. The government, in turn, reduces taxes by an amount equivalent to the scholarships provided by the industry to the students. As a result, this approach stimulates economic growth, fosters scientific advancements, and ensures students become highly skilled specialists in the future.

In addition to these research directions, we also plan to extend our focus on the practical implications of our work. This includes developing a well-improved and compatible curriculum design based on the schema derived from our results. Furthermore, we will strive to calculate the exact amounts of productions and tax in order to provide a clear illustration of the benefits and implications of our proposed approach. By pursuing these avenues, we aim to contribute to the advancement of the field and offer valuable insights for educational and economic planning.

### Список литературы

1. С. Смит, “Оценка качества работы - интегрированные учебные планы: всеобъемлющая структура”, Исследования и разработки в области высшего образования, том 31, стр. 247-262, 4 декабря 2012 года.
2. Д. Джексон, “Развитие навыков трудоустройства на рабочем месте -интегрированное обучение: барьеры и лучшие практики”, Исследования в области высшего образования, том 40, стр. 350-367, 2 декабря 2015 года.
3. Дж. Оррелл, “Программы обучения, интегрированные с работой: управление и качество образования”.
4. П. Вайлассери, Дж. М. Лонг и М. Йорденс, “Интеграция университетского образования на уровне бакалавра технических наук с расширенным обучением, интегрированным с работой”, Education Sciences, том 11, 11 2021.
5. Л. Уэст и А. Стирлинг, “Переосмысление трудового обучения как обучения, интегрированного в работу: изучение влияния структурированной поддержки обучения при неполной занятости в кампусе”.
6. А. Венвилл, Б. Линч, Э. Сантанам и А. Уитти, “Формализация обратной связи в партнерствах по интегрированному обучению: возможности для сотрудничества”.
7. Ю. И. Вуд, К. Э. Зегвард и У. Фокс-Тернбулл, “Специальный выпуск. реагирование на covid-19: понимание и концептуализация проблем, связанных с интегрированным обучением на рабочем месте - традиционное, дистанционное, виртуальное и имитационное обучение на рабочем месте-Интегрированное обучение: метаанализ существующей практики”.
8. Б. Дин, В. Янамандрам, М. Джей Иди, Т. Морони и Н. О'Доннелл, “Институциональная основа для работы на строительных лесах - интегрированное обучение Институциональная основа для работы на строительных лесах -интегрированное обучение на разных уровнях”, стр. 2020. [Онлайн]. Доступно: <https://ro.uow.edu.au/jutlp/Availableat:https://ro.uow.edu.au/jutlp/vol17/iss4/6>
9. М. Дулан, Б. Пигготт, С. Чепмен и П. Райкрофт, “Преимущества и проблемы внедрения интегрированного обучения на рабочем месте: тематическое исследование в рамках университетской образовательной программы”, стр. 44, 2019.
10. С. Хансен, С. Ф. Ростиянти, А. Ф. Сетиаван и А. Б. Кесаламварди, “Разработка модели обучения, интегрированной в работу, с учетом концепций construction 4.0”.

## References

1. C. Smith, "Evaluating the quality of work-integrated learning curricula: A comprehensive framework," *Higher Education Research and Development*, vol. 31, pp. 247–262, 4 2012.
  2. D. Jackson, "Employability skill development in work-integrated learning: Barriers and best practice," *Studies in Higher Education*, vol. 40, pp. 350–367, 2 2015.
  3. J. Orrell, "Work-integrated learning programmes: Management and educational quality."
  4. P. Vailasseri, J. M. Long, and M. Joordens, "Embedding bachelor of engineering university education with enhanced work-integrated learning," *Education Sciences*, vol. 11, 11 2021.
  5. L. West and A. Stirling, "Re-designing work study as work-integrated learning: Examining the impact of structured learning support in parttime on-campus employment."
  6. A. Venville, B. Lynch, E. Santhanam, and A. Whitty, "Formalizing feedback in work-integrated learning partnerships: Opportunities for collaboration."
  7. Y. I. Wood, K. E. Zegwaard, and W. Fox-Turnbull, "Special issue. responding to covid-19: Understanding and conceptualizing challenges for work-integrated learning conventional, remote, virtual and simulated work-integrated learning: A meta-analysis of existing practice."
  8. B. Dean, V. Yanamandram, M. J. Eady, T. Moroney, and N. O'donnell, "An institutional framework for scaffolding work-integrated learning an institutional framework for scaffolding work-integrated learning across a degree across a degree," p. 2020. [Online]. Available: <https://ro.uow.edu.au/jutlp>Availableat:<https://ro.uow.edu.au/jutlp/vol17/iss4/6>
  9. M. Doolan, B. Piggott, S. Chapman, and P. Rycroft, "The benefits and challenges of embedding work integrated learning: A case study in a university education degree program," p. 44, 2019.
  10. S. Hansen, S. F. Rostiyanti, A. F. Setiawan, and A. B. Koesalamwardi, "Developing a work-integrated learning model adjusting to construction 4.0 concepts."
-



Международный журнал информационных технологий и  
энергоэффективности

Сайт журнала:

<http://www.openaccessscience.ru/index.php/ijcse/>



УДК 004.054

## К ВОПРОСУ О ПРИМЕНЕНИИ МЕТАЭВРИСТИЧЕСКОГО ПОДХОДА К ОПТИМИЗАЦИИ ПАРАМЕТРОВ ВРЕМЕННЫХ ЗАДЕРЖЕК В СИСТЕМЕ АВТОМАТИЗАЦИИ ТЕСТИРОВАНИЯ ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЙ

<sup>1</sup>Глезова П.Е., <sup>2</sup>Давыдова О.Я.

<sup>1</sup>ФГАОУ ВО «САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ПЕТРА ВЕЛИКОГО», г.Санкт-Петербург, Россия (195251, город Санкт-Петербург, Политехническая ул., д. 29 литера Б)

<sup>2</sup>ФГАОУ ВО «САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ АЭРОКОСМИЧЕСКОГО ПРИБОРОСТРОЕНИЯ», г.Санкт-Петербург, Россия (190000, город Санкт-Петербург, Большая Морская ул., д.67 лит. а), e-mail: [davolmanager@gmail.com](mailto:davolmanager@gmail.com)

В статье рассмотрена задача разработки подхода для оптимизации параметров временных задержек в системе автоматизированного тестирования веб-приложений. Предложено рассматривать веб-страницу как ориентированный граф, в котором каждый узел представляет элемент веб-интерфейса, а ребро представляет время, необходимое для загрузки и взаимодействия с элементом веб-интерфейса. Поставленную задачу рекомендовано свести к решению задачи коммивояжера, используя гибридный алгоритм муравьиной колонии с изменяющимися с помощью генетического алгоритма параметрами. Эффективность алгоритма предложено оценивать по количеству итераций, необходимых для получения наилучшего решения.

Ключевые слова: Метаэвристический подход; автоматизация тестирования веб-приложений; задача коммивояжера; генетический алгоритм; муравьиный алгоритм; гибридный подход.

## ON THE APPLICATION OF A METAHEURISTIC APPROACH TO OPTIMIZING TIME DELAY PARAMETERS IN A WEB APPLICATION TESTING AUTOMATION SYSTEM

<sup>1</sup>Glazova P.E., <sup>2</sup>Davydova O.Ya.

<sup>1</sup>PETER THE GREAT ST. PETERSBURG POLYTECHNIC UNIVERSITY, St. Petersburg, Russia (195251 St. Petersburg, Politekhnikeskaya st., 29 lit.B)

<sup>2</sup>ST. PETERSBURG STATE UNIVERSITY OF AEROSPACE INSTRUMENTATION, St. Petersburg, Russia (190000, St. Petersburg, Bolshaya Morskaya st., 67, lit.A), e-mail: [davolmanager@gmail.com](mailto:davolmanager@gmail.com)

The article addresses the development of an approach for optimizing time delay parameters in an automated web application testing system. It is proposed to consider a web page as a directed graph, where each node represents a web interface element, and each edge represents the time required to load and interact with that element. The problem is recommended to be reduced to solving the traveling salesman problem using a hybrid ant colony algorithm with parameters adjusted by a genetic algorithm. The effectiveness of the algorithm is suggested to be evaluated based on the number of iterations needed to obtain the optimal solution.

Keywords: Metaheuristic approach; web application testing automation; traveling salesman problem; genetic algorithm; ant colony algorithm; hybrid approach.

Автоматизированное тестирование веб-приложений играет ключевую роль в современной разработке программного обеспечения, повышая качество продукта, ускоряя

процесс разработки и обеспечивая экономию ресурсов. С ростом сложности веб-приложений и увеличением их функциональности, запрос на стабильные и эффективные системы автоматизации тестирования растет.

Одним из инструментов автоматизации тестирования веб-приложений является Selenium. Благодаря открытому исходному коду, поддержке различных операционных систем и браузеров, Selenium считается популярным инструментом среди разработчиков.

При запуске тестовых сценариев с использованием Selenium разработчики часто сталкиваются с появлением временных задержек на стороне тестируемого веб-приложения. Они могут быть вызваны медленной загрузкой страниц, плохим Интернет-соединением, асинхронными запросами, или другими факторами, что в свою очередь приводит к нестабильности тестов.

На сегодняшний день появление временных задержек в автоматизированном тестировании с использованием Selenium обрабатывается путем ручного назначения параметров допустимых временных задержек, по истечению которых становится понятно: тест не был завершен по причине сбоя, или это является ошибкой, которая требует доработки на стороне веб-приложения. Ручное назначение параметров имеет ряд недостатков, таких как ограниченная возможность учета всех факторов, влияющих на временные задержки, неэффективность в случае изменения условий тестирования.

В настоящее время быстро развивается новое направление в теории и практике искусственного интеллекта – эволюционные вычисления (ЭВ). Данный термин обычно используется для общего описания алгоритмов поиска, оптимизации или обучения основанных на некоторых формализованных принципах естественного эволюционного отбора. Особенности идей эволюции и самоорганизации заключаются в том, что они находят подтверждение не только для биологических систем, развивающихся много миллиардов лет. Эти идеи в настоящее время с успехом используются при разработке многих технических и, в особенности, программных систем [1].

Использование метаэвристического подхода для решения задачи определения допустимых временных задержек в автоматизированном тестировании позволяет найти оптимальные параметры временных задержек, учитывая разнообразие сценариев тестирования и специфику веб-приложений. Такой подход способствует повышению стабильности и эффективности автоматизированных тестов, сокращению времени и ресурсов, затрачиваемых на тестирование.

В рамках исследования необходимо.

1. Определить математическую модель задачи оптимизации параметров временных задержек автоматизированного тестирования.
2. Осуществить сравнительный анализ известных метаэвристических методов и подобрать подходящий для решения поставленной задачи.
3. Разработать алгоритм оптимизации параметров временных задержек на основе выбранного метаэвристического метода.
4. Определить критерий эффективности разработанного алгоритма

В условиях динамичной среды, которой является веб-приложение, тестовые сценарии состоят из взаимодействия с множеством элементов интерфейса, каждый из которых требует различного времени на загрузку и обработку. Один из подходов к решению задач в такой среде

заключается в сведении задачи оптимизации параметров временных задержек к задаче коммивояжера.

В задаче коммивояжера требуется найти кратчайший путь, проходящий через множество городов ровно один раз и возвращающийся в начальную точку. Аналогично, в контексте автоматизированного тестирования веб-приложений, можно рассматривать каждый элемент интерфейса как «город», а время, необходимое для загрузки и обработки этих элементов, как «расстояние» между городами.

Таким образом, минимизация общего времени выполнения тестов сводится к нахождению оптимального маршрута, проходящего через все элементы интерфейса, который минимизирует суммарное время задержек.

Описание параметров.

1. Вершины (узлы): Каждый узел представляет элемент веб-интерфейса, который необходимо протестировать. Примерами узлов являются кнопки, поля ввода, изображения и другие компоненты веб-страницы.

2. Ребра (пути): Каждое ребро представляет время, необходимое для загрузки и взаимодействия с элементом веб-интерфейса. Времена загрузки могут варьироваться в зависимости от различных факторов, таких как размер элемента, сетевые задержки и производительность сервера.

Цель: минимизировать общее время выполнения тестового сценария, который включает посещение каждого элемента веб-интерфейса (узла) ровно один раз.

Формулировка задачи.

Граф: пусть  $G = (V, E)$  – это граф, где  $V$  – множество вершин (элементы веб-интерфейса),  $E$  – множество ребер (времена загрузки между элементами).

Матрица времени загрузки: пусть  $T$  – матрица времени загрузки, где  $t_{ij}$  обозначает время для перехода от элемента  $i$  к элементу  $j$ .

Необходимо найти такой маршрут (последовательность посещения вершин), который минимизирует суммарное время переходов между элементами.

Математическая модель.

Пусть  $x_{ij}$  – бинарная переменная, равная 1, если элемент  $i$  посещается перед элементом  $j$ , и 0 в противном случае.

Целевая функция:

$$\text{minimize } \sum_{i \in V} \sum_{j \in V} t_{ij} x_{ij}.$$

Ограничения.

Каждый элемент должен быть протестирован ровно один раз:

$$\begin{aligned} \sum_{j \in V} x_{ij} &= 1, \forall i \in V, \\ \sum_{i \in V} x_{ij} &= 1, \forall i \in V. \end{aligned}$$

В Таблице 1 представлен сравнительный анализ изученных метаэвристических подходов, рассмотрены их преимущества и недостатки [2].

Таблица 1 – Сравнительный анализ метаэвристических подходов

Тип подхода	Задача	Преимущества	Недостатки
Простой генетический алгоритм	Поиск оптимального или субоптимального решения	<ul style="list-style-type: none"> <li>- не требует дифференцируемости и непрерывности функции;</li> <li>- пригоден для решения крупномасштабных проблем оптимизации;</li> <li>- может быть использован для широкого класса задач;</li> <li>- прост в реализации.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- не гарантирует нахождение глобального экстремума;</li> <li>- не для всех задач удастся найти оптимальное кодирование параметров;</li> <li>- непросто моделировать для определения всех возможных вариантов.</li> </ul>
Эволюционное программирование	Поиск оптимального или субоптимального решения	<ul style="list-style-type: none"> <li>- наиболее гибкий подход, хорошо адаптируется к изменениям;</li> <li>- широкая область применения;</li> <li>- использует эволюцию на уровне фенотипа.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- не применяется оператор рекомбинации;</li> <li>- все преобразования выполняются над вещественными числами.</li> </ul>
Муравьиные алгоритмы	Задачи поиска кратчайшего пути и задачи комбинаторной оптимизации	<ul style="list-style-type: none"> <li>- хорошо адаптируются к изменениям;</li> <li>- меньше подвержены не оптимальным начальным решениям;</li> <li>- опираются на память обо всей колонии вместо памяти только о предыдущем поколении.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- сходимость гарантируется, но время сходимости не определено;</li> <li>- сильно зависят от настроечных параметров, которые подбираются только исходя из экспериментов.</li> </ul>
Генетическое программирование	Регрессия	<ul style="list-style-type: none"> <li>- генетический материал переменной длины;</li> <li>- принцип похож на машинное обучение.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- сложно подбирать гиперпараметры;</li> <li>- древовидное кодирование особей.</li> </ul>

*Источник: анализ авторов*

Для решения задачи оптимизации параметров временных задержек в системе автоматизации тестирования веб-приложений выбран гибридный подход: муравьиный и генетический алгоритм.

1. Муравьиные алгоритмы способны находить баланс между исследованием новых областей решений и использованием уже найденных решений. Это позволит эффективнее оценивать сетевую среду, так как диапазон изменений параметров сети небольшой и аномалии встречаются редко.

2. Муравьиный алгоритм хорошо подходит для решения задач комбинаторной оптимизации.

Главным недостатком методов класса муравьиных алгоритмов является чувствительность к изменяющимся параметрам. От них зависит качество решения и время, затраченное на его поиск. Для устранения данного недостатка предлагается рассматривать поиск подходящих параметров как задачу оптимизации, решение которой провести с использованием простого генетического алгоритма.



Гибридный метод основан на работе двух метаэвристических алгоритмов. Впервые он был предложен в материалах исследования Благовещенской Е.А. [3]. Основное отличие данного алгоритма от подобных заключается в том, что он не является последовательным применением нескольких алгоритмов. Его идея состоит в том, чтобы применить генетический алгоритм для оптимизации параметров основного алгоритма оптимизации - муравьиной колонии.

Алгоритм имеет динамические параметры и статические. Для каждого муравья  $a_k$  определены следующие динамические параметры:  $\alpha_k, \beta_k, Q_k$ .

$\alpha_k$  – чувствительность к феромонам.

$\beta_k$  – чувствительность муравья к эвристической информации.

$Q_k$  – интенсивность феромона. Определяет количество феромона, которое будет отложено муравьем.

Таким образом, в отличие от классической реализации, в данной модификации предполагается, что перечисленные параметры не применяются ко всем муравьям одновременно, а, напротив, каждый муравей имеет свой независимый набор параметров.

Алгоритм содержит и статические общие параметры:  $n, \rho, \tau_0$ .

$n$  – количество муравьев.

$\tau_0$  – параметр, определяющий количество феромона на пути к решению при инициализации.

$\rho$  – скорость испарения феромона.

Каждый муравей  $k$  на итерации  $t$  выбирает дугу  $ij$  с вероятностью  $p_{ij}^k(t)$ , определяемую формулой:

$$p_{ij}^k(t) = \frac{\tau_{ij}^{\alpha_k(t)} \eta_{ij}^{\beta_k(t)}}{\sum \tau_{iu}^{\alpha_k(t)} \eta_{iu}^{\beta_k(t)}}. \quad (1)$$

Каждый муравей откладывает феромон  $\Delta\tau_{ij}$  в соответствии с формулой:

$$\Delta\tau_{ij} = \frac{Q_k}{f(x_k)}, \quad (2)$$

где  $f(x_k)$  – длина пути  $x$ , найденная муравьем  $k$ .

Над динамическими параметрами работают генетические операторы. Оператор селекции, который вероятностно определяет новый набор параметров, задается следующим образом:

$$P(M_k) = \frac{f(x_k)}{\sum f(x_k)}, \quad (3)$$

где  $P(M_k)$  – вероятность выбора  $k$ -го параметра муравья для дальнейшего его участия в работе алгоритма.

Оператором кроссинговера является побитовое сложение (исключающее «или») битовых представлений значений параметров. Оператор мутации случайным образом изменяет бит битового представления каждого параметра.

Последовательность действий представлена в алгоритме 1.

Алгоритм 1. Алгоритм муравьиной колонии с изменяющимися с помощью генетического алгоритма параметрами.

```
c = inf
x =  $\emptyset$ 
define  $\eta, \tau_0, \rho$ 
for each  $v_{ij} \in V$  do
     $\tau_{ij} \sim (0; \tau_0)$ 
end for
for each  $\alpha_k \in A$  do
     $\alpha_k = \alpha, \beta_k = \beta, Q_k = Q$ 
end for
while не достигнут критерий останова do
    for each  $\alpha_k \in A$  do
         $x_k(t) = \emptyset$ 
        while  $|x_k| \neq N$  do
            выбрать j согласно правилу (1)
             $x_k(t) = x_k(t) \cup \{(i, j)\}$ 
        end while
        if  $f(x_k(t)) < c$  then
             $c = f(x_k(t))$ 
             $x = x_k(t)$ 
        end if

        for each  $v_{ij} \in x_k$  do
            вычислить  $\Delta\tau_{ij}$  согласно правилу (2)
        end for
        Применить оператор селекции согласно правилу (3)
        Применить оператор кроссовера
        Применить оператор мутации
        Установить новые параметры  $\alpha_k, \beta_k, Q_k$ 
    end while
```

*Источник: материалы исследования Благовещенской Е.А. [3]*

Эффективность разработанного алгоритма можно оценить по количеству итераций алгоритма, необходимого для получения наилучшего решения. В контексте автоматизированного тестирования веб-приложений показатель будет положительным, если увеличение количества итераций не будет влиять на частоту появления наилучших решений. Это будет означать, что алгоритм стабильно находит хорошие решения и большое количество итераций не является необходимым. Данное свойство позволит экономить вычислительные ресурсы и время при проведении тестов, сохраняя при этом высокую эффективность и надежность автоматизированного тестирования.

В результате проведенного исследования была описана задача оптимизации параметров временных задержек в системе автоматизированного тестирования, сформулирована математическая модель задачи в терминах задачи коммивояжера, а также проведен сравнительный анализ известных метаэвристических подходов, включая простой генетический алгоритм, эволюционное программирование, муравьиные алгоритмы и генетическое программирование. На основе анализа был выбран гибридный подход к решению поставленной задачи, состоящий из муравьиного и простого генетического алгоритма, в котором параметры муравьиного алгоритма изменяются с помощью простого генетического алгоритма. Критерием оценки эффективности предложенного алгоритма определено количество итераций, необходимое для получения наилучшего решения.

### Список литературы

1. Скобцов, Ю. Ф., Основы эволюционных вычислений. — Учебное пособие. — Донецк: ДонНТУ, 2008. — 326с.
2. Большаков, А. А. Интеллектуальные системы управления организационно-техническими системами / под редакцией А.А. Большакова. М. : Горячая линия — Телеком, 2006. — 160 с.
3. Blagoveshchenskaya, E. A. Ant colony optimization with parameter update using a genetic algorithm for travelling salesman problem / E. A. Blagoveshchenskaya, I. I. Mikulik, L. H. Strüngmannb // CEUR Workshop Proceedings : Proceedings of the Workshop "Models and Methods for Researching Information Systems in Transport 2020" on the basis of the departments "Information and Computer Systems" and "Higher Mathematics", St. Petersburg, 11–12 декабря 2020 года. Vol. 2803. — St. Petersburg: CEUR-WS, 2020. — P. 20-25. — EDN LVXZIX

### References

1. Skobtsov, Yu. F., Fundamentals of evolutionary computing. — A study guide. — Donetsk: DonNTU, 2008. — 326s.
  2. Bolshakov, A. A. Intelligent management systems of organizational and technical systems / edited by A.A. Bolshakov. M. : Hotline — Telecom, 2006. — 160 p.
  3. Blagoveshchenskaya, E. A. Ant colony optimization with parameter update using a genetic algorithm for traveling salesman problem / E. A. Blagoveshchenskaya, I. I. Mikulik, L. H. Strüngmannb // CEUR Workshop Proceedings : Proceedings of the Workshop "Models and Methods for Research Information Systems in Transport 2020" on the basis of the departments "Information and Computer Systems" and "Higher Mathematics", St. Petersburg, December 11-12, 2020. Vol. 2803. — St. Petersburg: CEUR-WS, 2020. — P. 20-25. — EDN LVXZIX.
-



Международный журнал информационных технологий и  
энергоэффективности

Сайт журнала:

<http://www.openaccessscience.ru/index.php/ijcse/>



УДК 004.9

## АНАЛИЗ РЕАЛЬНЫХ ФИЗИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ, ФОРМАЛИЗОВАННЫХ СИСТЕМАМИ МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ, С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СЕТЕЙ ПЕТРИ

**Коняев Е.А.**

ФГБОУ ВО "МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Н.Э. БАУМАНА (НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)",  
Москва, Россия (105005, город Москва, 2-Я Бауманская ул, д. 5 стр. 1), e-mail:  
bauman@bmstu.ru

В статье рассматривается алгоритм анализа реальных физических объектов, формализованных системой массового обслуживания, с использованием сетей Петри, описывается разработанное ПО, созданное на основе рассматриваемого алгоритма. Представлены результаты сравнения разработанного метода анализа и языка имитационного моделирования GPSS при одной и той же конфигурации системы массового обслуживания.

Ключевые слова: Системы массового обслуживания, СМО, сети Петри, GPSS.

## ANALYSIS OF REAL PHYSICAL OBJECTS, FORMALIZED BY MASS SYSTEMS SERVICES USING PETRI NETS

**Konyayev E.A.**

BAUMAN MOSCOW STATE TECHNICAL UNIVERSITY (NATIONAL RESEARCH UNIVERSITY),  
Moscow, Russia (105005, Moscow, 2nd Baumanskaya str., 5/1), e-mail: bauman@bmstu.ru

The article discusses an algorithm for analyzing real physical objects, formalized by a queuing system, using Petri nets, and describes the developed software created on the basis of the algorithm under consideration. The results of a comparison of the developed analysis method and the GPSS simulation language for the same queuing system configuration are presented.

Keywords: Queuing systems, QS, Petri nets, GPSS.

### Введение

Параллельная и распределенная обработка в реальных системах, таких как многопроцессорные системы, GRID-системы, распределенные базы данных и сети передачи данных, становятся все более распространенными. В этих системах задачи распределяются по ресурсам, выделяемым для их выполнения, и после завершения освобождают эти ресурсы. Такие информационные комплексы соответствуют концепции систем массового обслуживания.[2]

С учетом этого возрастает необходимость в анализе и контроле правильности функционирования систем массового обслуживания, чтобы обеспечить их эффективность и удовлетворить потребности пользователей. Такой анализ может быть проведен с использованием сетей Петри, которые предоставляют удобные средства моделирования и анализа различных аспектов работы систем массового обслуживания.[3]

Цель настоящей работы – разработать метод анализа и контроля правильности функционирования реальных физических объектов, формализованных системами массового обслуживания на основе сетей Петри.

### Использование свойств сетей Петри для анализа СМО

Аналитики часто обращаются к формальным системам в задачах моделирования и анализа сложных параллельных и асинхронных систем. Они используют математический аппарат сетей Петри, который позволяет глубоко проникнуть в моделируемые системы. Прикладная теория сетей Петри сосредотачивается на использовании этих сетей для моделирования и анализа систем, что позволяет получать важные сведения о их функционировании [4].

В зависимости от ограничений выделяют множество классов сетей Петри, но в данной статье алгоритм будет основан на применении обобщенного класса сетей Петри, определяемых как  $N = (P, T, F, B, M_0)$ :

- $P = \{p_1, p_2, \dots, p_n\}$  – конечное непустое множество элементов, называемых позициями,  $n > 0$ ;
- $T = \{t_1, t_2, \dots, t_m\}$  – конечное непустое множество элементов, называемых переходами,  $m > 0$ ;
- $F : P \times T \rightarrow 0, 1, 2, \dots$  и  $B : T \times P \rightarrow 0, 1, 2, \dots$  – функции инцидентности позиций и переходов. Инциденты только элементы разных типов (позиция и переход или переход и позиция). Множества позиций и переходов не пересекаются;
- $M_0 : P \rightarrow 0, 1, 2, \dots$  – функция начальной маркировки, которая сопоставляется каждой позиции  $p \in P$  некоторое неотрицательное число  $M_0(p)$ , называемое маркировкой позиции  $p$ ;

Реальные объекты с очередями, формализованные системами массового обслуживания, можно представить в виде  $Q$ -схемы описываемой кортежем  $(w, u, R, H, Z, A)$ , где:

- $w$  - входные данные;
- $u$  - поток обслуживания;
- $R$  - оператор сопряжения;
- $H$  - множество внутренних параметров;
- $Z$  - множество состояний для определений закона функционирования;
- $A$  - алгоритм функционирования.

Данные параметры можно сопоставить сети Петри следующим образом:

- входные данные - параметры инициализации маркеров функцией  $M_0$ ;
- поток обслуживания - множество переходов  $T$ ;
- оператор сопряжения и алгоритм функционирования - функция инцидентности  $F$ ;
- множество внутренних параметров - позиции  $p \in P$ , либо атрибуты фишек в цветной сети Петри;
- множество состояний - множество всех маркировок  $R(N, M)$ .

Сеть Петри обладает свойствами, которые могут быть использованы для анализа объектов, формализованных системой массового обслуживания [1]:

- безопасность и ограниченность;
- сохранение;
- живость;

- устойчивость;
- достижимость и покрываемость.

Сеть Петри безопасна, если все ее позиции безопасны. Позиция  $p \in P$  сети  $N = (P, T, F, B, M_0)$  называется безопасной, если  $M(p) \leq 1$  для любой маркировки  $M \in R(N)$ . Безопасность является частным случаем свойства ограниченности. Позиция  $p$  сети Петри  $N$  называется  $k$ -ограниченной, если  $M(p) \leq k$  для любой маркировки  $M \in R(N)$ . Анализ свойства безопасности можно использовать при проверки корректности СМО на то, что в очередях не находится больше ресурсов, чем это предусмотрено.

Сеть Петри  $N = (P, T, F, B, M_0)$  называется сохраняющей по отношению к вектору весов  $W = (w_1, w_2, \dots, w_n)$ ,  $n = |P|$ ,  $w_i \geq 0$ , если  $M, M' \in R(N)$  выполняется условие  $\sum_{j=1}^n w_i \cdot M(p_i) = \sum_{j=1}^n w_i \cdot M'(p_i)$ . Для моделирования систем распределения ресурсов важным является свойство сохранения. В этом случае маркеры в позициях сети Петри можно интерпретировать как ресурсы, количество которых в процессе функционирования должно оставаться неизменным (например, ресурс процессора в СМО).

Переход  $t \in T$  сети Петри  $N = (P, T, F, B, M_0)$  называется потенциально живым при маркировке  $M \in R(N)$ , если существует маркировка  $M' \in R(N, M)$ , такая, что  $M' \in F(t)$ . Сеть Петри называется живой, если все ее переходы живые. При функционировании сети Петри возможны ситуации, когда при некоторой маркировке не может сработать ни один переход сети, т. е. достигается тупиковая маркировка. Выявление тупиковых ситуаций является важной задачей при анализе систем с взаимодействующими процессами. Например, подобные случаи имеют место при взаимных блокировках процессов при распределении между ними ресурсов системы, что может возникнуть в результате функционирования СМО.

Пусть  $M(t) \subseteq R(N)$  – множество достижимых в сети Петри  $N$  маркировок, при которых для перехода  $t$  выполняется условие срабатывания. Если для всех маркировок  $M \in M(t)$  срабатывание любого другого разрешенного при маркировке  $M$  перехода не лишает переход  $t$  возможности сработать (оставляет его разрешенным), то переход  $t$  называется устойчивым. Свойство устойчивости важно для выявления конфликтов между процессами, когда запуск одного процесса влияет на другой процесс. В устойчивой сети Петри конфликты либо отсутствуют, либо успешно разрешаются. Обычно два разрешенных перехода находятся в конфликте, если они имеют по крайней мере одну общую входную позицию. Срабатывание одного из них может препятствовать срабатыванию другого (запрещает его), поскольку удаляется маркер из общего входа.

Распознавание рассмотренных свойств сетей Петри связано с определением возможности достижения некоторых заданных маркировок в сети. Задача достижимости формулируется следующим образом: для данной сети Петри  $N$  и маркировки  $M$  определить, является ли маркировка  $M$  достижимой из начальной маркировки сети, т. е.  $M \in R(N)$ . Многие задачи анализа можно сформулировать в терминах задачи достижимости. Например, пусть при решении задачи живости заранее известна тупиковая маркировка. Тогда, если эта маркировка достижима из начальной маркировки, то сеть не является живой. Если в СМО уже известна тупиковое состояние, то можно проанализировать, приведут ли другие известные состояния к этому тупику.

### Алгоритмы используемые в разработанном ПО

Было разработано ПО, которое позволяет из описанных пользователем частей СМО (генераторов, обработчиков и очередей) узнать количественные характеристики системы, на основе сетей Петри. Для обработчиков это: количество вхождений, коэффициенты использования, среднее время обслуживания. Для очередей: максимальное количество заявок, текущее количество заявок, среднее время нахождения заявки в очереди. IDF0-диаграмма нулевого уровня, описывающая работу приложения представлена на рисунке 1.

Для того, чтобы построить сеть Петри из описанных элементов СМО использовались алгоритмы, представленные на рисунках 2—4.

При анализе правильности функционирования в сети Петри проверялись свойства, описанные в предыдущем разделе.

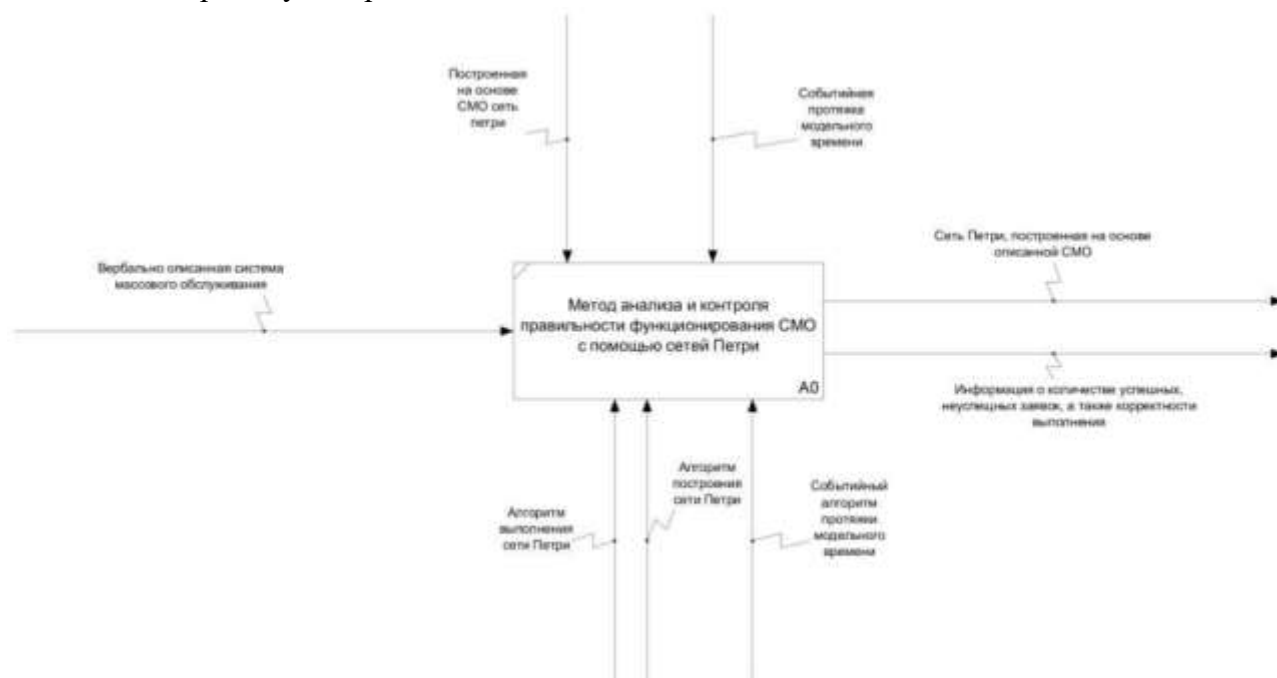


Рисунок 1 – Сегмент ЛВС после оптимизации

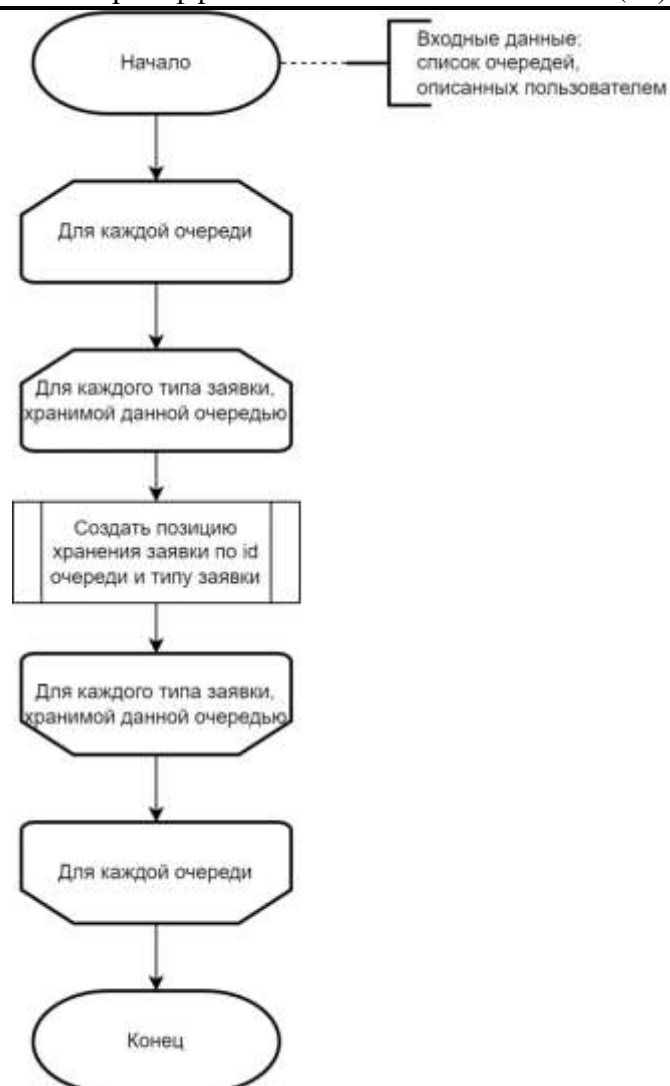


Рисунок 2 – Схема алгоритма создания элемента сети для очереди



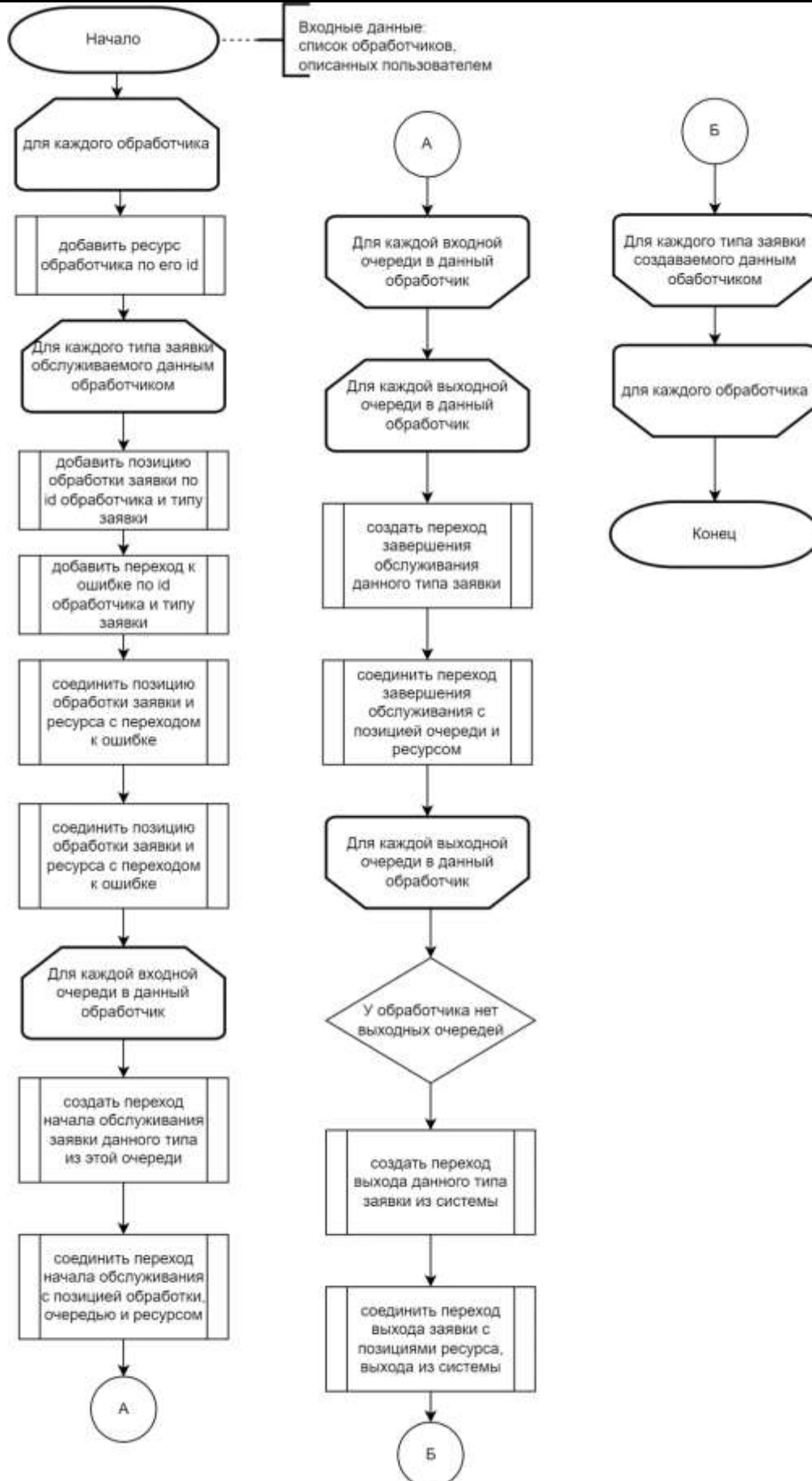


Рисунок 3 – Схема алгоритма создания элемента сети для обработчика

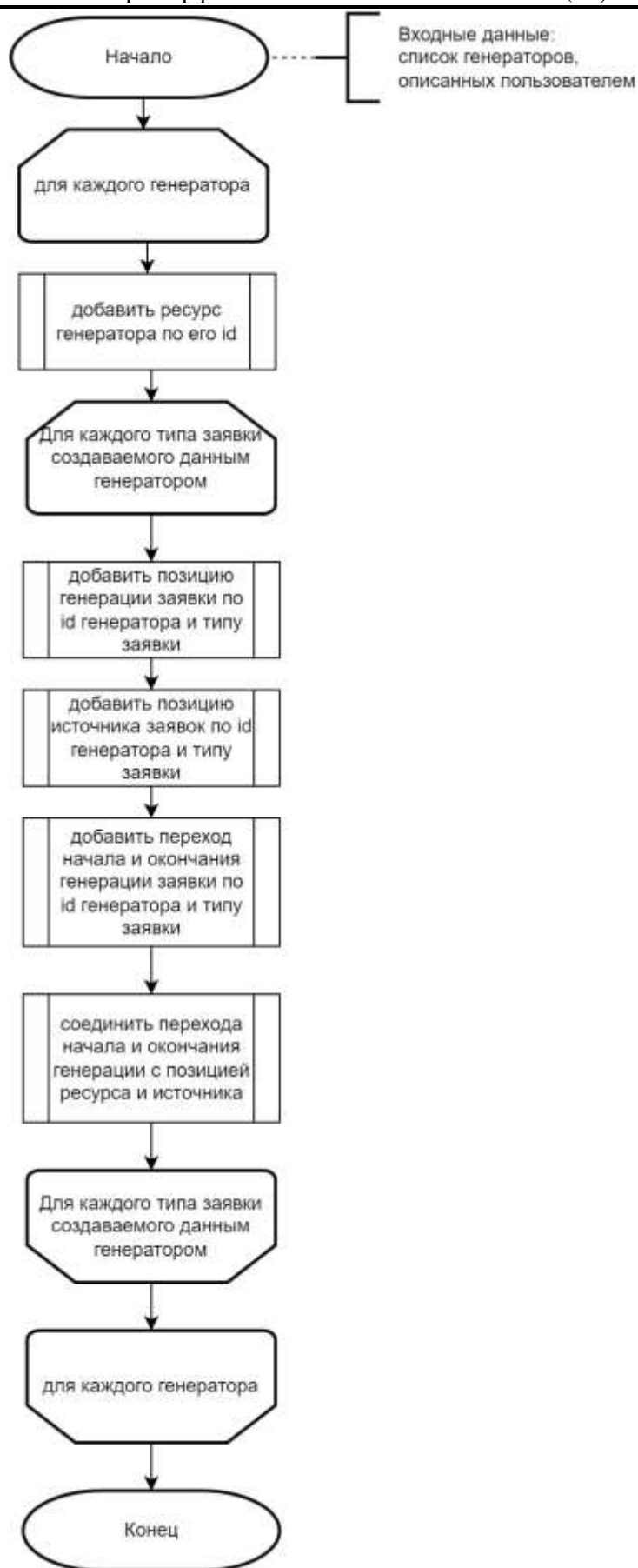


Рисунок 4 – Схема алгоритма создания элемента сети для генератора

### Использование свойств сетей Петри для анализа СМО

В качестве системы с очередями для анализа использовалась модель магазина, описываемая в [5], схема которой приведена на рисунке 5. В качестве валидации значений, выводимых с помощью программного комплекса, использовался язык GPSS, на котором была решена аналогичная задача. Результат сравнения приведен в таблицах 1-2.

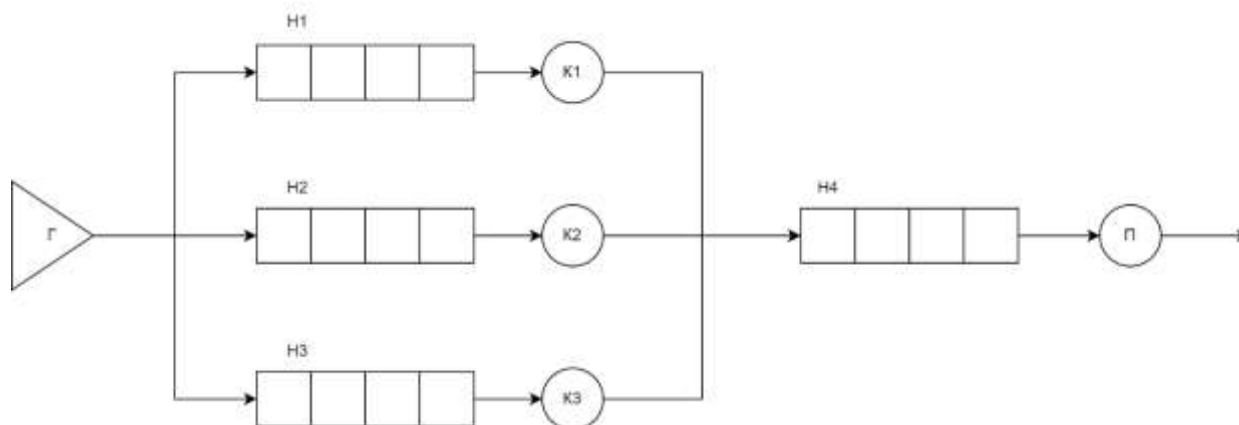


Рисунок 5 – Схема алгоритма создания элемента сети для обработчика

Таблица 1 – Сравнительная таблица параметров очередей

Параметр	H1(GPSS/ПО)	H2(GPSS/ПО)	H3(GPSS/ПО)	H4(GPSS/ПО)
Максимальное содержание	3/3	2/4	4/3	544/547
Текущее содержание	0/0	0/0	0/0	544/546
Среднее время пребывания	0.523/0.71	0.402/0.74	0.491/0.73	412.43/408.59

Таблица 2 – Сравнительная таблица параметров обработчиков

Параметр	K1(GPSS/ПО)	K2(GPSS/ПО)	K3(GPSS/ПО)	П(GPSS/ПО)
Число входов	223/225	208/202	215/217	101/98
Коэффициент использования	0.509/0.52	0.48/0.46	0.495/0.509	0.996/0.996
Среднее время обслуживания	2.275/2.3	2.278/2.261	2.254/2.33	9.738/10.03

Из приведенных выше таблиц видно, что есть расхождения, между результатами моделирования с помощью GPSS и разработанным ПО. Они обусловлены тем, что моделируемая система имеет стохастический характер и при разных запусках результаты могут немного отличаться, что и можно заметить в данном случае. При измерении времени работы было замечено, что для данной задачи разработанное ПО работало в 2.5 раза дольше, чем GPSS, что обуславливается дополнительными действиями: формирование сети Петри, проверка ее свойств, отображение на экране и лишь затем имитационное моделирование. Но описанные предварительные действия позволяют удостовериться в корректности решения задачи, что не позволяет сделать GPSS, выводя сразу готовые числа в качестве результата.

Таким образом в данной статье был рассмотрен алгоритм анализа объектов с очередями и его применение с использованием сетей Петри.

### Список литературы

1. Котов В.Е. Сети Петри.//М.: Наука, Главная редакция физико-математической литературы, 1984 — 158 с.
2. Толстых Н. Д., Учватов С.А. Система массового обслуживания, ее основные принципы и понятия//APRIORI. Серия: Естественные и технические науки. 2015. №6.
3. Плескунов М.А. Теория массового обслуживания: учебное пособие/М-во науки и высшего образования РФ, Урал. федер. ун-т. — Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2022. — 264 с.
4. Щербаков С.М. Имитационное моделирование экономических процессов в системе Arena: Учебное пособие/Рост. гос. эконом. ун-т (РИНХ). – Ростов н/Д, 2012. – 128 с.
5. Алтаев А.А. Имитационное моделирование на языке GPSS / Улан-Удэ, Изд-во ВСГТУ, 2001. – 122 с..

### References

1. Kotov V.E. Petri nets.//M.: Nauka, Main editorial office of physical and mathematical literature, 1984 - 158 p.
  2. Tolstykh N.D., Uchvatov S.A. Queuing system, its basic principles and concepts // APRIORI. Series: Natural and technical sciences. 2015. No. 6.
  3. Pleskunov M.A. Queuing theory: textbook / Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation, Ural. federal univ. — Ekaterinburg: Ural Publishing House. un-ta, 2022. — p.264
  4. Shcherbakov S.M. Simulation modeling of economic processes in the Arena system: Textbook / Growth. state economy University (RINH). – Rostov n/d, 2012. – p.128
  5. Altaev A.A. Simulation modeling in the GPSS language / Ulan-Ude, Publishing House of the All-Russian State Technical University, 2001. – p.122
-



Международный журнал информационных технологий и  
энергоэффективности

Сайт журнала:

<http://www.openaccessscience.ru/index.php/ijcse/>



УДК 004.05

## АНАЛИЗ И ПРОВЕДЕНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТА ПО ТЕСТИРОВАНИЮ ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОНТЕЙНЕРОВ

**Торопов Д.Ю.**

ФГАОУ ВО "НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, МЕХАНИКИ И ОПТИКИ (ИТМО)", Санкт-Петербург, Россия (197101, город Санкт-Петербург, Кронверкский пр-кт, д. 49 литер а), e-mail: [toropov85@yandex.ru](mailto:toropov85@yandex.ru)

Настоящая статья представляет собой обзор исследований и экспериментальных результатов, связанных с использованием Docker, GitHub Actions для автоматизации процессов CI/CD в разработке веб-приложений. Она акцентирует внимание на актуальности этих инструментов для повышения эффективности и автоматизации разработки ПО, а также на обнаруженных преимуществах и проблемах при их использовании.

Ключевые слова: Docker, контейнер, веб-приложение, CI/CD, GitHub Actions.

## ANALYSIS AND CONDUCTING AN EXPERIMENT TO TEST A WEB APPLICATION USING CONTAINERS

**Toropov D.Y.**

NATIONAL RESEARCH UNIVERSITY OF INFORMATION TECHNOLOGIES, MECHANICS AND OPTICS (ITMO), St. Petersburg, Russia (197101, St. Petersburg, Kronverkskiy pr-kt, 49, lit.a), e-mail: [toropov85@yandex.ru](mailto:toropov85@yandex.ru)

This article is a review of research and experimental results related to the use of Docker, GitHub Actions for automating CI/CD processes in web application development. It focuses on the relevance of these tools for improving the efficiency and automation of software development, as well as the benefits and problems discovered in their use.

Keywords: Docker, container, web application, CI/CD, GitHub Actions.

### Введение

При современном развитии информационных технологий, где актуальна скорость прогресса, разработчики веб-приложений сталкиваются с возросшими требованиями к эффективности и надежности своих продуктов.

Обеспечение бесперебойной работы в условиях высоких нагрузок становится ключевым элементом успеха. Пользователи, сталкиваясь с неудовлетворительной производительностью, имеют тенденцию отказываться от использования приложений в пользу более эффективных альтернатив.

Нагрузочное тестирование играет важную роль в обеспечении стабильной работы программного обеспечения, позволяя разработчикам оценить его работоспособность и выявить узкие места производительности.

С учетом быстрого развития веб-технологий и микросервисной архитектуры, а также широкого использования контейнеризации, в том числе с использованием Docker, крайне важно провести глубокий анализ влияния этих нововведений на процессы тестирования веб-приложений, а также на их производительность и надежность. Важно исследовать влияние CI/CD на тестирование и производительность, а также влияние различных конфигураций оборудования на производительность веб-приложений.

### **Анализ литературы**

В современном программном обеспечении принято использовать методологию непрерывной интеграции и непрерывной доставки (CI/CD), что позволяет значительно сократить время между внесением изменений в исходный код и публикацией обновлений на веб-сайтах и в приложениях [1]. Этот процесс основывается на автоматизации всех этапов, начиная с тестирования кода и заканчивая его автоматическим развертыванием.

В наше время многие разработчики используют такие инструменты как Docker и GitLab для автоматизации процесса разработки и развертывания [2]. Например, Docker обеспечивает совместимость приложений в разных средах благодаря упаковке приложений и их зависимостей в контейнеры.

GitLab предоставляет средства управления исходным кодом, а также возможность настройки процессов CI и CD [3]. Также можно использовать такие инструменты как AWS CodeDeploy для развертывания приложений на инфраструктуре Amazon Web Services, а GitHub Actions для автоматизации процессов CI/CD [4].

Однако следует отметить, что в процессе CI/CD могут возникнуть определенные сложности [5]. Например, изменения в условиях окружения или внешних сервисах могут привести к неожиданным результатам в сборках. Также существует необходимость в дальнейших исследованиях по управлению зависимостями между действиями в сценариях сборки, чтобы обеспечить стабильность и надежность процесса CI/CD.

### **Результаты нагрузочного тестирования**

В рамках исследования разработано простое веб-приложение на Node.js с использованием Express, предназначенное для проведения нагрузочного тестирования. Для автоматизации процессов CI/CD и интеграции сборки, тестирования и развертывания Docker образа был разработан и внедрен GitHub Actions workflow.

При каждом обновлении ветки master workflow автоматически клонирует репозиторий, устанавливает Node.js, выполняет установку зависимостей, сбрасывает кэш Docker Hub для пере аутентификации, а затем осуществляет сборку и отправку Docker-образа с прописанным тегом. Этот процесс позволяет обеспечить стабильность и автоматизацию процессов разработки и развертывания.

После успешного развертывания Docker-образа была проведена аутентификация в приложении Desktop Docker на двух персональных компьютерах HP и Huawei. Затем на каждом компьютере был запущен Docker образ и проведено нагрузочное тестирование с использованием Apache Benchmark. Тестирование проводилось над веб-приложением с контейнерами и без их применения в двух итерациях на каждом персональном компьютере.

В первом тесте, без Docker-контейнеризации, сервер обработал 1000 запросов за 0.709 секунды, что соответствует средней скорости 1409.68 запросов в секунду. Время ответа составило около 7.094 миллисекунд, а общий объем переданных данных - 213000 байт.

Во втором тесте с уровнем параллели 100, сервер обработал миллион запросов за 473.97 секунды, что соответствует средней скорости 2109.84 запросов в секунду. Время ответа составило 47.397 миллисекунд, а общий объем переданных данных - 213000000 байт.

С применением Docker-контейнеризации в первом тесте сервер обработал 1000 запросов за 1.124 секунды, что соответствует средней скорости 889.50 запросов в секунду. Время ответа составило около 11.242 миллисекунд, а общий объем переданных данных - 218000 байт.

Во втором тесте с уровнем параллели 100, сервер обработал миллион запросов за 889.76 секунды, что соответствует средней скорости 1123.90 запросов в секунду. Время ответа составило 88.976 миллисекунд, а общий объем переданных данных - 218000000 байт.

Анализ результатов показывает, что производительность сервера немного ухудшилась с применением Docker-контейнеризации при уровне параллели 10, но при уровне параллели 100 произошло улучшение.

Время ответа на запрос возросло с применением Docker, что может указывать на более высокое время ответа на отдельные запросы. Общий объем переданных данных увеличился, но остался в пределах сопоставимых значений.

Таблица сравнения тестирований на ноутбуке HP представлена в Таблице 1.

Таблица 1 – Результаты нагрузочного тестирования на ноутбуке HP

Метрика	Без Docker (параллель= 10)	Без Docker (параллель= 100)	С применением Docker (параллель= 10)	С применением Docker (параллель= 100)
Время тестирования (с)	0.709	473.970	1.124	889.760
Запросы в секунду (запрос/с)	1409.68	2109.84	889.50	1123.90
Время на запрос (мс)	7.094	47.397	11.242	88.976
Объем данных (общий) (байт)	213000	213000000	218000	218000000
Объем данных (HTML) (байт)	14000	14000000	18000	18000000

В ходе эксперимента на ноутбуке Huawei было проведено сравнение производительности приложения, запущенного в разных сценариях. В первом сценарии, без использования Docker, приложение обрабатывало 1,000 запросов с параллелизмом 10, достигая средней производительности в 2,171.07 запросов в секунду. Среднее время обработки запроса составляло 4.606 миллисекунд. Во втором сценарии, также без Docker, приложение обрабатывало 1,000,000 запросов с параллелизмом 100, достигая средней производительности 3,960.80 запросов в секунду и среднего времени обработки запроса 25.247 миллисекунд.

При использовании Docker производительность приложения в обоих тестах была ниже: при обработке 1,000 запросов с параллелизмом 10 средняя производительность составила 831.62 запроса в секунду, среднее время ответа на запрос - 12.025 миллисекунд, и при обработке

1,000,000 запросов с параллелизмом 100 средняя производительность составила 626.74 запроса в секунду, среднее время ответа на запрос - 159.555 миллисекунд.

Общий объем переданных данных рос пропорционально количеству запросов, и в обоих тестах не было обнаружено отклоненных запросов. Результаты позволяют сделать вывод о масштабируемости приложения и его эффективности при обработке высоких нагрузок в различных сценариях.

Результаты тестирования на ноутбуке Huawei представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты нагрузочного тестирования на ноутбуке Huawei

Метрика	Без Docker (параллель= 10)	Без Docker (параллель= 100)	С применением Docker (параллель= 10)	С применением Docker (параллель= 100)
Время тестирования (с)	0.461	252.474	1.202	1595.553
Запросы в секунду (запрос/с)	2171.07	3960.80	831.62	626.74
Время на запрос (мс)	4.606	25.247	12.025	159.555
Объем данных (общий) (байт)	218000	218000000	218000	218000000
Объем данных (HTML) (байт)	18000	18000000	18000	18000000

Сравнительный анализ показал, что влияние Docker на производительность зависит от характеристик оборудования и настроек системы. Например, на ноутбуке HP наблюдалось уменьшение времени тестирования с использованием Docker, однако запросы в секунду снижались. В то время как на ноутбуке Huawei, при 100 параллельных запросах, наблюдалось увеличение времени тестирования и объема переданных данных. Эти различия могут быть обусловлены пропускной способностью оборудования, настройками системы и влиянием Docker на производительность. Таким образом, результаты подчеркивают необходимость детального анализа и тестирования при использовании Docker для определения оптимальных условий работы данного программного инструмента.

## Список литературы

1. Коняева О.С., Системы контроля версий в процессе работы веб-студий // XXVIII Российская научно-техническая конференция профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов университета с приглашением ведущих ученых и специалистов родственных вузов и организаций – 2021. – С. 155 – 156.
2. Баклан В.И., Использование технологии CI/CD при разработке приложения «автоматизированная система коммуникаций студентов, администрации и потенциальных работодателей // Электронный сборник трудов молодых специалистов Полоцкого Государственного Университета – 2020. – С. 5 – 6.
3. Коняева О.С., Системы контроля версий в процессе работы веб-студий // XXVIII Российская научно-техническая конференция профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов университета с приглашением ведущих ученых и специалистов родственных вузов и организаций – 2021. – С. 155 – 156.



4. Баклан В.И., Использование технологии CI/CD при разработке приложения «автоматизированная система коммуникаций студентов, администрации и потенциальных работодателей» // Электронный сборник трудов молодых специалистов Полоцкого Государственного Университета – 2020. – С. 5 – 6.
5. Delicheh H.O., Decan A., Mens T., A Preliminary Study of GitHub Actions Dependencies // University of Mons (UMONS), Mons, Belgium, F.R.S.-FNRS Research Associate – 2022.

## References

1. Konyaeva, O.S., "Version Control Systems in the Process of Work of Web Studios", Proceedings of the XXVIII Russian Scientific and Technical Conference of Professors, Teachers, and Researchers of the University with the Invitation of Leading Scientists and Specialists of Related Universities and Organizations – 2021, pp. 155-156.
  2. Baklan, V.I., "The Use of CI/CD Technology in the Development of the Application 'Automated Communication System for Students, Administration, and Potential Employers'", Electronic Collection of Works of Young Specialists of Polotsk State University – 2020, pp. 5-6.
  3. Konyaeva O.S., Version control systems in the process of web studios // XXVIII Russian Scientific and technical Conference of faculty, researchers and graduate students of the University with the invitation of leading scientists and specialists of related universities and organizations - 2021. – pp. 155 – 156.
  4. Baklan V.I., The use of CI/CD technology in the development of the application "automated communication system for students, administration and potential employers" // Electronic collection of works of young specialists of Polotsk State University – 2020. – pp. 5-6.
  5. Delicheh, H.O., Decan, A., Mens, T., "A Preliminary Study of GitHub Actions Dependencies", University of Mons (UMONS), Mons, Belgium, F.R.S.-FNRS Research Associate – 2022.
-



Международный журнал информационных технологий и  
энергоэффективности

Сайт журнала:

<http://www.openaccessscience.ru/index.php/ijcse/>



УДК 004.9

## ПРИМЕНЕНИЕ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ ДЛЯ ОЦЕНКИ ИЗМЕНЕНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ОБЪЕКТОВ ВО ВРЕМЕНИ

<sup>1</sup>Ильясов Р.Р., Атнабаев А.Ф.

ФГБОУ ВО «УФИМСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ НАУКИ И ТЕХНОЛОГИЙ», Уфа, Россия (450076, Республика Башкортостан г. Уфа, ул. Заки Валиди, д. 32), e-mail:

<sup>1</sup>[rustam.iljasov2015@yandex.ru](mailto:rustam.iljasov2015@yandex.ru)

Данная статья посвящена анализу динамики различных объектов с течением времени. Наиболее значимым является применение современных цифровых технологий, позволяющих отслеживать определенную территорию без фактического участия. В статье рассматриваются снимки, полученные в результате дистанционного зондирования, которые помогают в выявлении и оценке изменения пространственных объектов во времени.

Ключевые слова: Дистанционное зондирование, снимок, пространственный объект, временной анализ.

## THE USE OF REMOTE SENSING OF THE EARTH TO ASSESS CHANGES IN SPATIAL OBJECTS OVER TIME

<sup>1</sup>Ilyasov R.R., Atnabaev A.F.

UFA UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY, Ufa, Russia (450076, Republic of Bashkortostan, Ufa, Zaki Validi str., 32), e-mail: <sup>1</sup>[rustam.iljasov2015@yandex.ru](mailto:rustam.iljasov2015@yandex.ru)

This article is devoted to the analysis of the dynamics of various objects over time. The most significant is the use of modern digital technologies that allow you to track a certain territory without actually participating. The article discusses images obtained as a result of remote sensing, which help in identifying and evaluating changes in spatial objects over time.

Keywords: Remote sensing, snapshot, spatial object, time analysis.

### Введение

В современном мире наблюдается стремительное развитие цифровых технологий, которые существенно упрощают процесс мониторинга и анализа пространственных объектов на Земле. Если раньше требовались значительные ресурсы и время на предмет изменения территории во времени, особенно в контексте ручной обработки данных, то сейчас существуют различные методы, в частности дистанционное зондирование Земли (ДЗЗ), благодаря которому есть возможность упростить данный процесс.

Дистанционное зондирование, являясь методом изучения объектов и явлений на поверхности Земли без непосредственного контакта с ними, позволяет получать данные с высокой пространственной и временной разрешающей способностью, что открывает новые возможности для анализа и прогнозирования изменений, происходящих на планете. Благодаря ДЗЗ исследователи могут более точно изучать динамику изменений в природных и

антропогенно измененных ландшафтах, а также выявлять тенденции и факторы, влияющие на окружающую среду [2].

### **Временной Анализ**

В течение определенного временного интервала на поверхности Земли наблюдаются значительные динамические процессы, которые могут быть вызваны как природными факторами, так и воздействием человека. Естественные явления, такие как изменения морфологии рек и растительного покрова, могут привести к изменениям в ландшафте и географическом распределении объектов. Параллельно, воздействие человека, включая урбанизацию, индустриализацию и изменение землепользования, также существенно влияет на динамику пространственных объектов.

Для выполнения временного анализа существенно иметь доступ к ресурсам, содержащим информацию о состоянии территории на различных промежутках времени. Этот процесс требует обширных данных о изменениях, происходящих на поверхности Земли в течение различных временных периодов. Дистанционное зондирование Земли выступает важным инструментом, обеспечивающим такой доступ.

Спутниковые снимки, аэрофотосъемка и другие методы дистанционного зондирования предоставляют возможность получить информацию о территории с высоким разрешением и в различные годы. Это позволяет анализировать изменения в ландшафте, распределении землепользования, урбанизации, росте населения и других аспектах окружающей среды на различных этапах ее развития.

Такой многомерный анализ динамики изменений в пространственных объектах и их временном характере является ключевым для понимания процессов, происходящих на Земле, и важен для принятия обоснованных решений [2].

### **Оценка результатов исследования**

Крайне важно, чтобы результаты исследования имели максимально достижимую точность. Одним из ресурсов, предоставляющих информацию о поверхности Земли, выступает Google Earth Engine, позволяющий с точностью анализировать изменения объектов во времени. Благодаря данному сервису были получены данные дистанционного зондирования Земли в виде снимков за период с 1984 года до 2022 года по исследуемой территории [1].

Оценить изменения пространственных объектов во времени помогло использование геоинформационной системы (ГИС) QGIS, предоставившая возможность для анализа.

Была выбрана часть территории в районе реки Белая, находящаяся на территории Республики Башкортостан.

Этапы анализа данных посредством использования геоинформационной системы:

#### **1. Загрузка снимков**

Изображения загружены как отдельные векторные изображения. Имеют единый формат, размер, привязку, что являются крайне важными условиями для корректности выполнения исследования

#### **2. Оцифровка регионов**

С течением времени многие объекты претерпевают некоторым изменениям. Необходимо разделить их по группам и выделить посредством построения линий. Каждая линия должна иметь собственный цвет, что является их отличительной особенностью друг от друга.

### 3. Анализ результатов

Построенные линии позволяют оценить результаты изменения пространственных объектов с течением времени.

Совместное использование ГИС и ресурсов, позволило увидеть более полную картину и повысить точность исследования. На Рисунке 1 представлен снимок территории за 1984 год.



Рисунок 1 – Отображение исследуемой территории

На Рисунке 2 изображен снимок территории за 2022 год.



Рисунок 2 – Отображение исследуемой территории

Динамику изменений пространственных объектов с течением времени можно проследить, включив отображение построенных линий. Результат представлен на Рисунке 3.



Рисунок 3 – Отображение исследуемой территории

На изображении линиями выделены объекты, в наибольшей степени подвергшиеся определенным изменениям. Красным цветом определены карьеры, синим – острова, в результате подъема уровня воды. Зеленым отмечены территории, влияние на которые оказало воздействие человека. Временной интервал составил тридцать восемь лет.

### **Заключение**

Таким образом, в ходе исследования была проведена оценка изменения пространственных объектов во времени на примере реки Белая. Анализ данных показал, что использование современных технологий, в числе которых дистанционное зондирование, в совокупности с геоинформационными системами, позволяет достичь определенных результатов. Безусловно, результаты подвержены определенной погрешности, но несмотря на это, данный метод является одним из наиболее эффективных и недорогостоящих в применении. С учетом этих факторов, возможно дальнейшее применение полученных данных.

### **Список литературы**

1. Earth Engine от Google – уникальная платформа для анализа больших геоданных / Хабр (habr.com).
2. Дистанционное зондирование Земли – Российские космические системы (russianspacesystems.ru).
3. Хабаров Д.А., Адиев Т.С., Попова О.О., Чугунов В.А., Кожевников В.А. «Анализ современных технологий дистанционного зондирования Земли»//Московский экономический журнал №1-2019.
4. Асылгареев Н.Р., Атнабаев А.Ф., Орлов Н.С. «Верификация результатов дешифрирования космических снимков низкого разрешения MODIS для мониторинга схода снежного покрова»//Сборник «Геоинформационные технологии в проектировании и создании корпоративных информационных систем», Уфа, 2015. С. 30-35.

### **References**

1. Google's Earth Engine is a unique platform for analyzing large geodata / Habr (habr.com ).

2. Remote sensing of the Earth – Russian space systems ([russianspacesystems.ru](http://russianspacesystems.ru))
  3. Khabarov D.A., Adiev T.S., Popova O.O., Chugunov V.A., Kozhevnikov V.A. "Analysis of modern technologies of remote sensing of the Earth" // Moscow Economic Journal No.1-2019.
  4. Asylgareev N.R., Atnabaev A.F., Orlov N.S. "Verification of the results of decoding low-resolution MODIS satellite images for monitoring snowfall" // Collection "Geoinformation technologies in the design and creation of corporate information systems", Ufa, 2015. pp. 30-35.
-





Международный журнал информационных технологий и  
энергоэффективности

Сайт журнала:

<http://www.openaccessscience.ru/index.php/ijcse/>



УДК 004.8

## ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ФИНАНСОВЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ СТРАХОВОЙ КОМПАНИИ

**Карасёв Д.М.**

ФГБОУ ВО "МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Н.Э. БАУМАНА (НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)",  
Москва, Россия (105005, город Москва, 2-Я Бауманская ул, д. 5 стр. 1), e-mail:  
[weasdqw72@gmail.com](mailto:weasdqw72@gmail.com)

В данной статье осуществлено комплексное исследование методов прогнозирования финансовой деятельности страховой компании, что представляет собой ключевую задачу в условиях высокого риска и неопределённости, характерных для конкурентных рынков страховых услуг. В работе подробно анализируются как классические, так и современные подходы к прогнозированию, основанные на обработке сложных данных страховой сферы. В частности, рассмотрены особенности использования статистических методов, машинного обучения и глубокого обучения для эффективного прогнозирования финансовых показателей. Особое внимание уделено методам градиентного бустинга и анализу временных рядов, результаты применения которых демонстрируют значительное улучшение в точности прогнозов финансовой деятельности страховой компании по сравнению с традиционными моделями.

Ключевые слова: Риск, страхование, прогнозирование, страховые услуги, финансовая деятельность.

## THE USE OF MACHINE LEARNING METHODS TO PREDICT THE FINANCIAL PERFORMANCE OF AN INSURANCE COMPANY

**Karasev D.M.**

BAUMAN MOSCOW STATE TECHNICAL UNIVERSITY (NATIONAL RESEARCH UNIVERSITY),  
Moscow, Russia (105005, Moscow, 2nd Baumanskaya str., 5/1), e-mail: [weasdqw72@gmail.com](mailto:weasdqw72@gmail.com)

This article provides a comprehensive study of methods for forecasting the financial performance of an insurance company, which is a key task in conditions of high risk and uncertainty characteristic of competitive insurance markets. The paper analyzes in detail both classical and modern approaches to forecasting based on the processing of complex insurance data. In particular, the features of using statistical methods, machine learning and deep learning for effective forecasting of financial indicators are considered. Special attention is paid to gradient boosting methods and time series analysis, the results of which demonstrate a significant improvement in the accuracy of forecasts of the financial activity of an insurance company compared with traditional models.

Keywords: Risk, insurance, forecasting, insurance services, financial activities.

### Введение

Стабильная экономическая деятельность многих промышленных предприятий и организаций, компаний на конкурентном рынке является залогом социально-экономической политики государства. Согласно Тарасовой Ю.А. «Эффективное функционирование различных отраслей экономики, таких как отрасли промышленности, сельское хозяйство, а также предпринимательства, возможно только при наличии хорошо организованной системы государственного управления в страховой области» [1]. Это предполагает взаимодействие четкой иерархии власти, где каждый уровень выполняет свои определенные функции и задачи.

Вертикаль государственного управления позволяет координировать деятельность различных секторов экономики, устанавливать правила и стандарты, а также обеспечивать контроль за их выполнением и соблюдением.

Например, в современных конкурентных рыночных условиях компании должны управлять объемом предоставления определенных страховых продуктов и услуг, и их продаж. Актуальность объема продаж связана напрямую с финансовой деятельностью страховой компании. Она непосредственным образом влияет на доходы страховой компании, так как именно от продажи страховых продуктов и услуг зависит ее прибыль. Она влияет на финансовую устойчивость компании сбалансирова размер ее активов и обязательств.

Поэтому очень важно уметь прогнозировать спрос и управлять предложением таким образом, чтобы финансовые результаты были направлены на минимизацию затрат и избежание потерь потенциальной прибыли.

Рыночная конкурентная среда всегда остается нестабильной и непредсказуемой от субъективных и объективных причин [2]. В таких рыночных условиях на конкурентном рынке, компании вынуждены защитить свои интересы на рынке от различных рисков, связанные с их коммерческой деятельностью [3]. Например, прогнозирование многих показателей с учетом рисков финансово-хозяйственной деятельности компании позволяет им эффективно позиционировать себя на конкурентном рынке, а также стратегически управлять им на долгосрочной перспективе. Стратегическое планирование помогает компании оценить свои текущие возможности и потенциальные угрозы, чтобы разработать эффективную стратегию для достижения поставленных целей. Оно также позволяет компании адаптироваться к изменяющимся требованиям рынка и предпочтениям клиентов, расширяя спектр предоставляемых страховых продуктов и услуг, максимально удовлетворяя все потребности потребителей.

В этом случае страхование компании позволяют снизить финансовые потери организаций, предприятий и физических лиц в случае возникновения непредвиденных ситуаций, таких как аварии, кражи, пожары, природные катаклизмы и другие форс- мажорные обстоятельства. Также и сами страховые компании сталкиваются с трудностями при планировании своей деятельности на длительный период времени из-за быстро меняющейся и непредсказуемой ситуации на страховом конкурентном рынке. Это может быть вызвано различными факторами, основными из которых являются изменения в законодательстве государственной политики, экономические кризисы во внешних и внутренних рынках, внедрением новых технологий в работу конкурентов и другие [4].

Несмотря на значительные успехи в методах прогнозирования финансовой деятельности страховой компании, все еще остаются вопросы, связанные со сложностью проведения процессов прогнозирования временных рядов и они требуют дальнейшего изучения.

**Цель работы** – исследование и анализ применения методов машинного обучения для прогнозирования финансовых показателей страховой компании.

Процесс прогнозирования включает в себя анализ данных и информации из различных источников для определения будущих тенденций и возможностей спроса на товары или услуги страховой компании. Результаты этого исследования помогают руководству страховой компании принимать обоснованные решения, связанные с планированием мероприятий по продвижению бренда компании, маркетингом, ценообразованием и другими аспектами



бизнеса. Прогнозирование спроса является важной частью процесса принятия управленческих решений, поскольку оно позволяет страховой компании лучше понимать потребности своих клиентов и адаптировать свою стратегию для удовлетворения этих потребностей.

В наши дни главной целью страховых компаний является извлечение прибыли на перспективу [5]. Но страховые компании работают в специфическом секторе экономики, где получение прибыли неразрывно связано с выполнением социальной функции – предоставлением защиты от рисков и неопределенности будущего. Необходимо также определить категорию населения или клиентов страховой компании – это различные физические и юридические лица, адекватно реагирующие на изменения государственной политики, социально-экономических отношений в обществе, а также предугадывающие будущие риски различных событий в будущем. Поэтому, хотя прибыль и является ключевым показателем эффективности работы страховой компании, она должна достигаться в рамках справедливого и прозрачного ценообразования, адекватной оценки рисков и соблюдения интересов клиентов.

Согласно Т.Г.Гурнович и Е.И.Ладыгиной в настоящее время «существует большое количество методов, позволяющих осуществлять прогнозирования объемов страховых услуг. Наиболее часто используются три группы методов: методы экспертных оценок; методы анализа и прогнозирования временных рядов; казуальные (причинно-следственные) методы» [6].

Прогнозирование посредством экспертных оценок основывается на принципах анализа текущего состояния страховой компании и ее потенциала для дальнейшего развития. Этот подход предполагает привлечение специалистов-экспертов, которые анализируют внутренние и внешние факторы, влияющие на компанию, и делают прогнозы относительно ее будущего развития. Конъюнктурные оценки, полученные с помощью экспертных методов полезны в случаях, когда использование других методов затруднено из-за отсутствия полной информации, необходимой для качественного прогноза.

Методы прогнозирования данных страховой компании на основе анализа и прогнозирования временных рядов включают в себя различные статистические и математические модели, которые используются для предсказания будущих событий, таких как количество страховых случаев, размер выплат по страховым полисам и другие. Они позволяют более точно оценивать риски и принимать обоснованные решения по управлению своим объектом, компанией или другим имуществом.

Казуальные методы прогнозирования данных основаны на анализе причинно-следственных связей между различными переменными. Например, при исследовании связи между уровнем доходов населения и спросом на страховые продукты используют корреляционный анализ. Если обнаруживается устойчивая корреляция между ними, то можно сделать прогноз о том, как изменение уровня доходов повлияет на спрос на страховые продукты. Они позволяют понимать динамику конкурентного рынка и позволяют принимать решение о стратегии развития страховой компании.

В настоящее время наиболее успешными методами прогнозирования финансовой деятельности страховой компании являются исследование временных рядов и корреляционно-регрессионные модели.

Прогнозирование временных рядов финансовой деятельности (недельные, квартальные, годовые) страховых компаний включают в себя такие методы и подходы [7]:

1. Анализ временных рядов. Он включает в себя анализ трендов во времени, сезонности, цикличности и других характеристик данных.

2. Прогнозирование на основе ARIMA-моделей. ARIMA (авторегрессионная интеграция скользящего среднего) – это статистическая модель, которая используется для прогнозирования временных рядов. Она учитывает авторегрессию (зависимость текущего значения от предыдущих), интеграцию (учет тренда) и скользящее среднее (учет сезонности).

3. Прогнозирование на основе нейронных сетей. Нейронные сети используются для прогнозирования временных рядов, если они имеют сложную структуру или нелинейные зависимости.

4. Прогнозирование на основе деревьев решений. Деревья решений – это алгоритмы машинного обучения, которые используются для прогнозирования временных рядов. Успешность их применения обосновано на том, что они обрабатывают данные с большим количеством переменных, а затем результаты интерпретируются.

5. Прогнозирование на основе методов машинного обучения. Например, метод опорных векторов, случайный лес, градиентный бустинг и другие. Градиентный бустинг позволяет улучшить производительность модели путем последовательного добавления деревьев решений к слабому предсказателю, т.е. итерация будет проводиться до тех пор, пока не будет достигнута определенная, заранее заданная точность.

6. Прогнозирование на основе статистических моделей. Статистические модели, такие как линейная регрессия, логическая регрессия, дискриминантный анализ, используются для прогнозирования сложных данных путем построения линейных и нелинейных моделей, а также построения моделей на основе дифференцированных данных.

В настоящее время финансовый план страховой компании формируется из следующих составных частей:

- формирования структуры капитала;
- определение объема привлеченных средств;
- определения направлений размещения привлеченных средств;
- определение лимитов по видам страхования;
- определения порядка формирования и использования страховых резервов;
- определения порядка формирования и использования прибыли;
- формирования показателей развития на предстоящий период;
- определения порядка налогообложения.

Рассмотрим использование градиентного бустинга для прогнозирования финансовой деятельности страховой компании. Он основан на принципе обучения на основе ансамбля слабых моделей, таких как деревья решений. Пусть имеется большой массив данных наблюдаемых параметров, содержащих информацию о финансовых результатах и клиентах страховой компании, таких как страховые резервы, страховые выплаты, денежный поток, бюджет доходов, количество клиентов и прибыль компании (рисунок 1). Обучающая выборка состоит из  $m=1002$  результатов наблюдений и  $n=6$  входящих переменных:  $X = \{X_1, X_2, X_3, X_4, X_5\}$  и результирующей переменной  $Y$ .

X1	X2	X3	X4	X5	Y
317,45	234,26	309,12	378,12	527	12673408
321,34	264,71	311,17	365,46	524	11745691
318,16	256,08	308,23	354,18	538	11894367
319,10	237,12	307,22	364,80	544	12367234
318,74	238,23	306,86	356,24	529	12094567
317,03	247,72	307,28	366,17	541	11945274
319,62	218,72	308,15	373,44	536	12178361

Рисунок 1 – Исходный фрагмент обучающей выборки

Необходимо построить отображение  $F : X \rightarrow Y$ , где  $X$  – вектор внутренних переменных, а  $Y$  – прогнозируемая величина.

Наша цель – предсказать вероятность того, что клиенты купят новый полис страхования в следующем году. Для этого используем алгоритм градиентного бустинга, а также исследуем возможности снижения размерности задачи без потери информационной емкости исходных данных финансовых результатов страховой компании.

Решение данной задачи проведем с помощью метода градиентного бустинга на базе деревьев решений (*Gradient boosting trees*) [8,9].

Необходимо также оценить качество прогноза с помощью статистических показателей, представленных в таблице 1, где  $Y_i$  – известные табличные данные, а  $\hat{Y}_i$  – расчетные предсказанные значения.

Таблица 1 – Статистические показатели оценки качества прогноза

Средние оценки	Среднеквадратическая ошибка (Root Mean Square Error)	$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m (y_i - \hat{y}_i)^2}{m}}$
	Средняя % ошибка (Mean Absolute Percentage Error)	$MAPE = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \frac{ y_i - \hat{y}_i }{y_i} \cdot 100\%$
Точечная оценка	Ошибка экстраполяции (Relative Extrapolation Error)	$REE = \frac{ y_{m+1} - \hat{y}_{m+1} }{y_{m+1}} \cdot 100\%$

Расчеты проведем в программной среде Wolfram Mathematica, использующейся для численных расчетов, построения графиков, работы с массивами данных, программирования и других задач связанных с математикой и статистикой [9].

На Рисунке 2 представлены результаты работы оператора модели прогнозирования методом градиентного бустинга.



Рисунок 2 – Составление базы данных и построение модели

Характеристика процесса обучения модели включает в себя множество параметров, включая изменение во времени стандартного отклонения. Оно является мерой разброса значений случайной величины относительно ее математического ожидания. В контексте машинного обучения, стандартное отклонение здесь используется для оценки стабильности модели во время обучения.

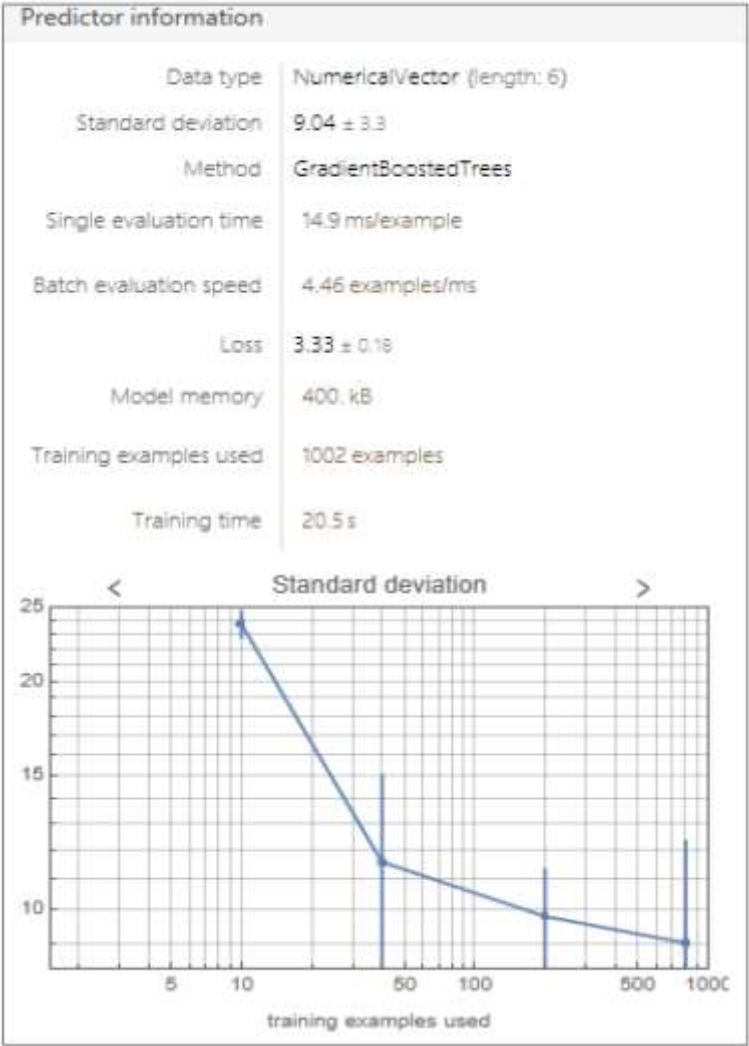


Рисунок 3 – Процесс обучения программы

Расчет качества обучения модели представлен на Рисунке 4.

```

predictresults = Flatten[GBT[x]]; (*прогноз результатов для расчета оценок*)
(*Среднеквадратическая ошибка*)
RMSEGBT = Sqrt[Sum[Power[y[[i]] - predictresults[[i]], 2], {i, Length[y]}] / Length[y]]
(*Средняя процентная ошибка*)
MAPEGBT = PercentForm[Sum[Abs[y[[i]] - predictresults[[i]]] / y[[i]], {i, Length[y]}] / Length[y]]
(*Ошибка экстраполяции для завтрашнего дня*)
Error = PercentForm[Abs[GBTResult - answer] / answer]

```

Рисунок 4 – Расчет статистических показателей согласно таблице 1

На основании вычисленных значений две переменные оказались несущественными на основании коэффициента корреляции, поэтому проводилось поэтапное понижение размерности (методом главных компонент) от четырех до единицы, т.е. количества клиентов.

Как следует из результатов, уменьшение параметров не привела к существенному изменению оценка качества прогноза, представленная на Рисунке 5.

Ошибка	n				
	6	4	3	2	1
RMSE	3.672	3.886	4.007	3.898	5.031
MAPE	1.03%	1.09%	1.09%	1.02%	1.38%
REE	0.33%	0.55%	1.12%	0.35%	0.45%

Рисунок 5 – Вычисленные значения статистических переменных при понижении числа параметров модели

Таким образом, было проведено обучение модели с помощью обучающей выборки, а с помощью тестовой выборки проведена проверка ее эффективности. В процессе обучения модель добавляла новые деревья решений до тех пор, пока не достигла определенной точности или не превысила заданное количество итераций.

Таким образом, мы можем использовать обученную модель для прогнозирования финансовой деятельности страховой компании. Для этого мы можем ввести новые данные клиентов и предсказать вероятность того, что они купят новый полис страхования в будущем.

### Вывод.

Для того чтобы повысить эффективность работы страховой компании в условиях неопределенности и риска, необходимо систематически планировать и прогнозировать финансовую деятельность. Основой для этого служит детальное изучение общей ситуации на конкурентном рынке страховых услуг, включая динамику предпринимательской активности и жизненный уровень населения в регионе присутствия компании. Такой подход позволяет учитывать все возможные факторы, влияющие на успешность бизнеса, и принимать взвешенные решения, направленные на минимизацию рисков и максимизацию прибыли. Градиентный бустинг временных рядов является более успешным методом прогнозирования финансовой деятельности страховой компании.

## Список литературы

1. Тарасова Ю. А. Страховое дело. -Москва: Изд-во Юрайт, 2024. - 232 с.
2. Дрюк Т. В. Целевая модель развития страхового рынка России: клиентоцентричная трансформация и лучшие практики зарубежных стран//Финансы и кредит. 2023. Т. 29, № 6(834). – С. 1339-1369.
3. Илюхин А. А., Илюхина С.В. Экономика страхового рынка: моделирование ключевых показателей//Human Progress. 2022. Т. 8, № 3. – С. 6-11.
4. Иванов Д. Ю., Ростова Е.П., Клевина М.В. Страховая компания в системе управления рисками производства//Вестник Самарского университета. Экономика и управление. 2023. Т. 14, № 3. – С. 167-176.
5. Крамчанинова, А. С. Перспективы развития страхования в аспекте цифровизации экономики/А.С.Крамчанинова, А.А.Новикова, Е.И.Выхристюк//Социальные и технические сервисы: проблемы и пути развития : Сборник статей по материалам VIII Всероссийской научно-практической конференции , Нижний Новгород, 18 ноября 2021 года. – Нижний Новгород: ФГБОУ ВО "Нижегородский государственный педагогический университет имени Козьмы Минина", 2021. – С. 177-180.
6. Джалилова Г. А., Градусова В.Н. Современные подходы к прогнозированию деятельности страховых компаний//Научное обозрение. Международный научно-практический журнал. 2020. № 4. – С. 1-6.
7. Савинская Д.Н., Кочкарова П.А., Зейн В.К, Шуняев А.А. Современные методы прогнозирования временных рядов//Современная экономика: проблемы и решения. 2021. Том 11(143). –С.56-62.
8. А. Дьяконов «Введение в анализ данных и машинное обучение». URL: [https://alexanderdyakonov.files.wordpress.com/2017/06/book\\_boosting\\_pdf.pdf](https://alexanderdyakonov.files.wordpress.com/2017/06/book_boosting_pdf.pdf) (Дата обращения 17.03.2024).
9. Stephen Wolfram. An Elementary Introduction to the Wolfram Language. URL: <https://www.wolfram.com/language/elementary-introduction/2nd-ed/> (дата обращения 17.03.2024).
10. Джункеев У. Прогнозирование инфляции в России на основе градиентного бустинга и нейронных сетей//деньги и кредит, 2024. Т.83. №1. –С.53-76.

## References

1. Tarasova Yu. A. Insurance business. -Moscow: Yurayt Publishing House, 2024. – pp.232
2. Dryuk T.V. Target model for the development of the Russian insurance market: client-centric transformation and best practices of foreign countries // Finance and Credit. 2023. T. 29, No. 6(834). – pp. 1339-1369.
3. Ilyukhin A.A., Ilyukhina S.V. Economics of the insurance market: modeling of key indicators // Human Progress. 2022. T. 8, No. 3. – pp. 6-11.
4. Ivanov D.Yu., Rostova E.P., Klevina M.V. Insurance company in the production risk management system // Bulletin of Samara University. Economics and Management. 2023. T. 14, No. 3. – pp. 167-176.
5. Kramchaninova, A. S. Prospects for the development of insurance in the aspect of digitalization of the economy / A. S. Kramchaninova, A. A. Novikova, E. I. Vykhristyuk // Social and

- technical services: problems and development paths: Collection of articles based on materials from VIII All-Russian Scientific and Practical Conference, Nizhny Novgorod, November 18, 2021. – Nizhny Novgorod: Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Nizhny Novgorod State Pedagogical University named after Kozma Minin”, 2021. – pp. 177-180.
6. Dzhililova G. A., Gradusova V.N. Modern approaches to forecasting the activities of insurance companies // Scientific review. International scientific and practical journal. 2020. No. 4. – pp. 1-6.
  7. Savinskaya D.N., Kochkarova P.A., Zein V.K, Shunyaev A.A. Modern methods of forecasting time series // Modern economics: problems and solutions. 2021. Volume 11(143). –pp.56-62.
  8. A. Dyakonov “Introduction to data analysis and machine learning.” URL: [https://alexanderdyakonov.files.wordpress.com/2017/06/book\\_boosting\\_pdf.pdf](https://alexanderdyakonov.files.wordpress.com/2017/06/book_boosting_pdf.pdf) (Accessed 03/17/2024).
  9. Stephen Wolfram. An Elementary Introduction to the Wolfram Language. URL: <https://www.wolfram.com/language/elementary-introduction/2nd-ed/> (access date 03/17/2024).
  10. Dzhunkeev U. Forecasting inflation in Russia based on gradient boosting and neural networks // money and credit, 2024. T.83. No. 1. –pp.53-76.
-



Международный журнал информационных технологий и  
энергоэффективности

Сайт журнала:

<http://www.openaccessscience.ru/index.php/ijcse/>



УДК 004.67

## ГЕЙМИФИКАЦИЯ В ОБРАЗОВАНИИ: ВЛИЯНИЕ НА МОТИВАЦИЮ И РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ

Лескова Д.О., Сафонова Т.В., Муленко М.Д., <sup>1</sup>Мокряк А.В.

ФГБОУ ВО "РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ" Санкт-Петербург, Россия (192007, город Санкт-Петербург, Воронежская  
ул., д. 79)

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО "САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ГОСУДАРСТВЕННОЙ  
ПРОТИВОПОЖАРНОЙ СЛУЖБЫ МИНИСТЕРСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ ПО  
ДЕЛАМ ГРАЖДАНСКОЙ ОБОРОНЫ, ЧРЕЗВЫЧАЙНЫМ СИТУАЦИЯМ И ЛИКВИДАЦИИ  
ПОСЛЕДСТВИЙ СТИХИЙНЫХ БЕДСТВИЙ ИМЕНИ ГЕРОЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ГЕНЕРАЛА АРМИИ Е.Н.ЗИНИЧЕВА", Санкт-Петербург, Россия (196105, г. Санкт-  
Петербург, Московский проспект, д.149), e-mail: [mokryakanna@mail.ru](mailto:mokryakanna@mail.ru)

Анализ результатов исследования в области геймификации в образовании позволяет понять влияние данного подхода на мотивацию и достижения учащихся. Геймификация - это применение игровых элементов и принципов в неигровых контекстах, таких как учебный процесс, с целью улучшения мотивации и результатов обучения. В данной статье рассматриваются принципы геймификации в образовании, а также ее влияние на мотивацию и результаты обучения. Приводятся преимущества и недостатки использования описанной технологии и общий анализ исследований, а также глубокий анализ собственного исследования, направленного на изучение интересов задействованных в обучающем процессе лиц. Обозреваются примеры внедрения геймификации в образовательный процесс.

Ключевые слова: Геймификация, игра, образовательный процесс, мотивация обучающихся, компьютерные технологии.

## GAMIFICATION IN EDUCATION: IMPACT ON STUDENT MOTIVATION AND RESULTS

Leskova D.O., Safonova T.V., Mulencko M.D., <sup>1</sup>Mokryak A.V.

RUSSIAN STATE HYDROMETEOROLOGICAL UNIVERSITY, St. Petersburg, Russia (192007, St.  
Petersburg, Voronezhskaya str., 79)

<sup>1</sup>ST. PETERSBURG UNIVERSITY OF THE STATE FIRE SERVICE OF THE MINISTRY OF THE  
RUSSIAN FEDERATION FOR CIVIL DEFENSE, EMERGENCIES AND ELIMINATION OF  
CONSEQUENCES OF NATURAL DISASTERS NAMED AFTER THE HERO OF THE RUSSIAN  
FEDERATION, GENERAL OF THE ARMY E.N. ZINICHEV, St. Petersburg, Russia (196105, St.  
Petersburg, Moskovsky prospekt, 149), e-mail: [mokryakanna@mail.ru](mailto:mokryakanna@mail.ru)

Analysing the research findings on gamification in education provides insight into the impact of this approach on student motivation and achievement. Gamification is the application of game elements and principles to non-game contexts, such as the learning process, in order to improve motivation and learning outcomes. This article examines the principles of gamification in education, as well as its impact on motivation and learning outcomes. The advantages and disadvantages of using the described technology and a general analysis of research are presented, as well as an in-depth analysis of our own research aimed at studying the interests of those involved in the learning process. Examples of introducing gamification into the educational process are reviewed.



## **Введение**

В современном мире образование претерпевает значительные изменения, связанные с развитием информационно-коммуникационных технологий, а также с новыми требованиями, предъявляемыми к обучающимся. Одним из наиболее перспективных и активно развивающихся направлений в этой области является геймификация образования, то есть применение игровых подходов и технологий в образовательном процессе с целью повышения мотивации и вовлеченности учащихся.

Целью данной статьи является анализ влияния геймификации на мотивацию и результаты обучающихся. Для достижения этой цели необходимо решить следующие задачи:

- 1) рассмотреть основные принципы и методы геймификации в образовании;
- 2) определить преимущества и недостатки геймификации для обучающихся;
- 3) изучить влияние геймификации на мотивацию учащихся;
- 4) оценить эффективность геймификации с точки зрения результатов обучения.

## **Определение и методы**

Геймификация – это применение игровых технологий в неигровом контексте, в данном случае - в образовательный процесс [1]. Основные принципы геймификации включают:

- 1) наличие целей и задач, которые требуют решения;
- 2) систему наград и поощрений за достижение определенных результатов;
- 3) возможность взаимодействия между участниками процесса;
- 4) элементы соревнования и конкуренции;
- 5) обратную связь, позволяющую участникам отслеживать свои успехи;
- 6) участие на добровольной основе.

Методы геймификации включают:

- 1) создание рейтингов и таблиц лидеров;
- 2) использование виртуальных наград и медалей;
- 3) внедрение элементов ролевых игр, квестов и головоломок;
- 4) применение технологий виртуальной и дополненной реальности;
- 5) использование геймифицированных мобильных приложений и онлайн-платформ.

Исследования показывают, что геймификация может значительно влиять на мотивацию учащихся. Игровые элементы, такие как награды, рейтинги и элементы соревнования, стимулируют интерес обучающихся и повышают их вовлеченность в учебный процесс. В результате при правильном подборе составляющих уровень мотивации учащихся может значительно повыситься, что положительно скажется на их успеваемости и результатах обучения [2]. Также исследования выявляют, что цифровая геймификация с использованием компьютерных технологий по эффективности превосходит нецифровую [3, 4].

На данный момент существует несколько исследований, показывающих, что внедрение элементов игровых механик в образовательный процесс может улучшить результаты обучения, особенно в тех случаях, когда учебный материал сложен и требует высокой мотивации учащихся [5].

Для написания данной статьи было проведено мини-исследование «Необходимость геймификации в образовании». С целью изучить интересы задействованных в обучающем процессе лиц был создан опрос, в котором респонденты ответили на вопросы касательно

использования компьютерных технологий для улучшения качества образования. По его результатам была собрана статистика, а ее анализ будет представлен далее.

В опросе приняли участие школьники, студенты, преподаватели, учителя, родители, а также лица, уже получившие образование, проявляющие интерес к видеоиграм в количестве 208 человек (Рисунок 1). Участникам пояснили, что такое геймификация, и описали ее признаки.

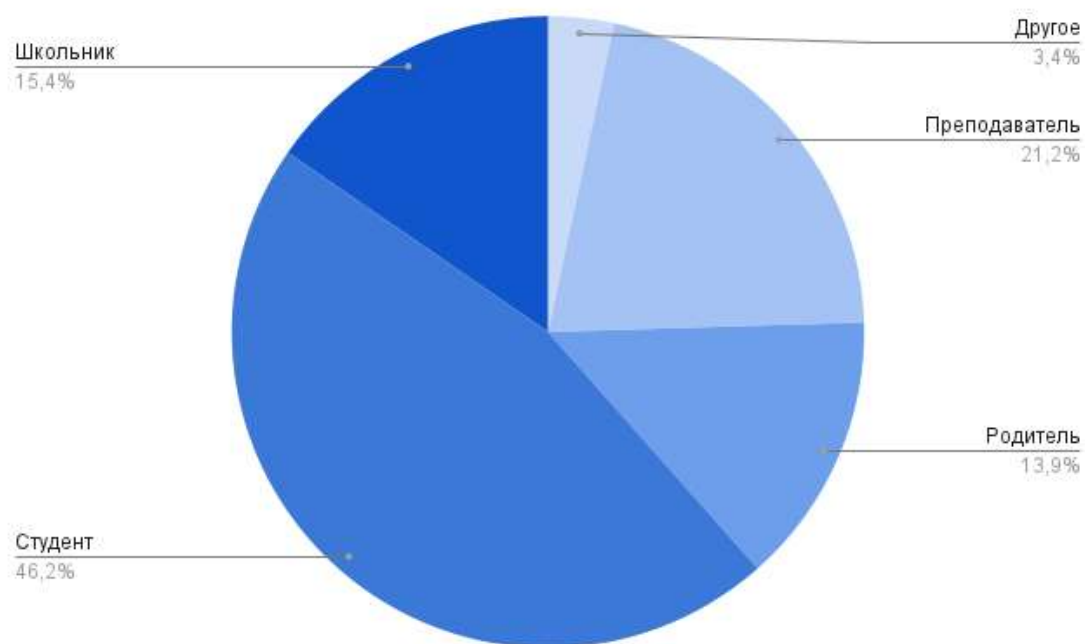


Рисунок 1 – Процентное соотношение респондентов

На данной диаграмме представлено процентное соотношение групп респондентов к их общему количеству. К категории «Студент» себя отнесли 96 участников, что составляет почти 50% опрошенных. Это может быть обусловлено небольшим размером выборки, повышенной заинтересованностью данной группы или более выраженной доступностью.

Далее респондентам было предложено ответить на вопрос: «Влияет ли использование элементов игры в обучении на мотивацию участников образовательного процесса?». Голоса распределились следующим образом (Рисунок 2):

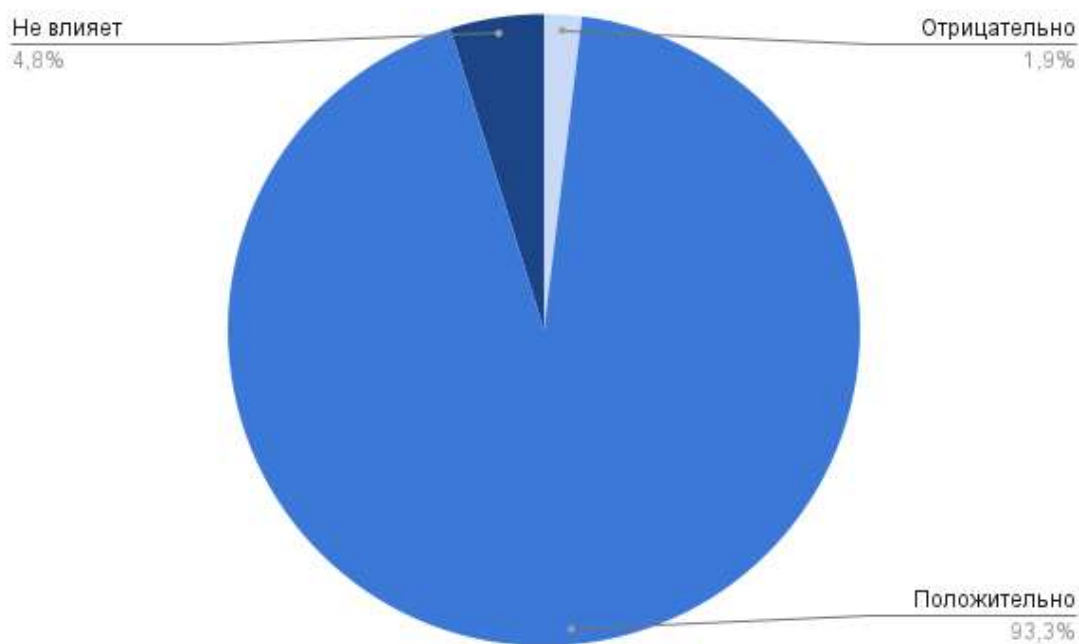


Рисунок 2 – Влияние геймификации на обучение и мотивацию

Как показывает данная статистика, большинство опрошенных считает, что геймификация положительно скажется на образовательном процессе. При этом ответ «отрицательно» отметили 4 человека, относящихся к разным категориям: «Школьник», «Преподаватель», «Студент», «Родитель». По каждой из категорий процентное соотношение ответов равномерно и соответствует диаграмме.

Далее респонденты отметили знакомые примеры геймификации в обучении. Наиболее популярными среди опрошенных оказались онлайн-приложения, квестовый формат и система наград и поощрений.

Также было отмечено, что для использования в образовании наиболее подходящими жанрами игр являются следующие: паззлы и головоломки – 136 голосов, квесты и викторины – 134 голоса (оба жанра этих жанра респонденты посчитали удобным способом закрепления материала), песочницы – 75 голосов (для проведения химических и физических экспериментов), стратегии – 74 голоса (для воссоздания исторических процессов).

Самыми подходящими дисциплинами для геймификации респондентами были выделены информатика, география, математика, иностранный язык и физика (Рисунок 3).

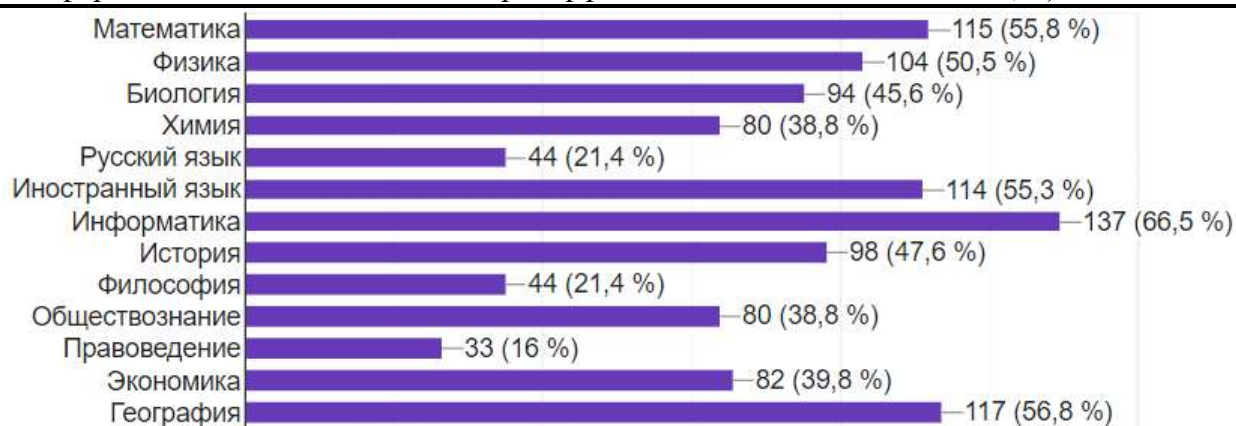


Рисунок 3 – Дисциплины, подходящие для геймификации

Также 6 человек отметили, что все дисциплины могут подойти в зависимости от методов, а еще 6 выделили дополнительно несколько неосновных дисциплин, отсутствующих в списке. Высокий процент проголосовавших за иностранный язык и информатику может быть обусловлен специфичностью выборки (большая часть – IT-специалисты и обучающиеся по этому направлению), а также существованием приложений для изучения иностранных языков и языков программирования.

Далее респондентам был задан вопрос о проблемах, которые могут возникнуть при геймификации учебного процесса. Основные и наиболее часто упоминаемые:

1. Неправильный подход к обучению, что напрямую влияет на мотивацию обучающихся. При неверно выбранном подходе пострадает не только сам процесс обучения, но и итог.

2. Нехватка специалистов в этой области. Для геймификации должна быть сформирована отдельная программа и методики для преподавателей.

3. Устаревшая техника. Для полноценного внедрения методик, предполагающих геймификацию, образовательные учреждения должны быть оснащены оборудованием, на котором будет реализовываться процесс обучения.

4. Ухудшение зрения. Для устранения данной проблемы потребуется сбалансировать учебную программу так, чтобы время, проводимое за игрой, было допустимым, а также необходимо будет грамотно настроить мониторы, чтобы минимизировать нагрузку на зрительный аппарат.

5. Различия в игровых предпочтениях обучающихся. В этом процессе должны быть заинтересованы все, иначе будет нарушен один из принципов геймификации – добровольность.

6. Обучение может превратиться в игру. Необходимо правильно совместить теоретическую, практическую и интерактивную части для реализации потенциала геймификации. Одним из вариантов решения этой проблемы является выделение определенного процента времени на закрепление «сложного» материала игрой.

7. Неподготовленность обучающихся с точки зрения психологии. Если по итогам игры будут выставляться оценки, то это вызовет стресс у ученика. Игра должна быть использована не для проверки знаний, а для их закрепления или углубления. Составление рейтингов также может навредить самооценке обучающегося, поэтому внесение результатов в «таблицу лидеров», если игра предусматривает данный аспект, должно быть добровольным.

### **Преимущества и недостатки**

Одним из основных преимуществ геймификации является повышение мотивации учащихся. Это происходит благодаря тому, что игровые элементы стимулируют интерес и любопытство у обучающихся, а также создают атмосферу соревнования. Ошибки не воспринимаются участниками так серьезно, потому что в играх практически любую ошибку можно исправить. Кроме того, геймификация позволяет индивидуализировать обучение, учитывая интересы, способности и потребности каждого учащегося [6, 7].

Однако геймификация также имеет и ряд недостатков. Во-первых, она может отвлекать внимание от основного содержания учебного материала, превращая образовательный процесс в развлечение. Во-вторых, некоторые элементы геймификации, такие как система наград и рейтингов, могут создавать неравенство между учащимися, усиливая конкуренцию и стресс. В-третьих, внедрение геймификации требует значительных затрат на разработку и поддержку соответствующих инструментов и технологий. В-четвертых, не каждый геймифицированный элемент обучения можно приравнять к составляющей игрового процесса. Например, если на основе полученных оценок был составлен рейтинг учащихся, из которого они не могут выйти, то нарушается принцип добровольного участия [8].

### **Примеры применения геймификации для обучения**

Примерами положительного влияния геймификации на образование являются приложения для изучения иностранных языков [4], например, «Duolingo». Программа предлагает множество заданий по запоминанию лексики и по изучению грамматики языков. Обучение проводится в игровой форме, приложение позволяет просматривать личную статистику участника, а также формирует рейтинги. «Duolingo» используется для самостоятельного обучения, и пользователи подтверждают эффективность данного подхода к изучению материала [9, 10].

Что касается геймификации «школьного» иностранного языка, то здесь наиболее показательным примером является учебник по английскому языку для 9 класса из серии Spotlight [5]. В пособии материал предоставляется наглядно, имеет иллюстрации, понятные школьникам, предусмотрены также задания на аудирование. Из всего разнообразия выделяются задания в формате игры – викторины, которые предлагают школьникам посоревноваться в знаниях по предложенной параграфом теме. На учебник получены положительные заключения Российской академии наук и Российской академии образования.

### **Выводы**

Таким образом, геймификация в образовании является перспективным направлением, способным повысить мотивацию и вовлеченность учащихся, а также индивидуализировать процесс обучения. Однако для эффективного использования геймификации необходимо учитывать ее преимущества и недостатки, а также проводить дополнительные исследования для оценки ее влияния на результаты обучения.

### **Список литературы**

1. Быкадырова Е. С. Геймификация в образовании//Современные научные исследования и разработки. 2018. №12(29). С. 178-180.

2. Мадаев, С. М. Геймификация в образовании: как игровая механика помогает повысить мотивацию и знания учащихся / С. М. Мадаев, С. Х. Алихаджиев // Тенденции развития науки и образования. – 2023. – № 103-1. – С. 115-117.
3. Wang, L.H., Chen, B., Hwang, G.J. et al. Effects of digital game-based STEM education on students' learning achievement: a meta-analysis. *IJ STEM Ed* 9, 26 (2022). [Electronic resource]. - URL: <https://doi.org/10.1186/s40594-022-00344-0> (Дата обращения: 14.05.2024).
4. Lavrenova E.V., Belopolskiy V.A., Melentiev V.V., Rozhdestvenskiy I.V. Gamification and VR Technologies in Application to Teaching Practical Foreign Language Skills [electronic text] // *Culture and technologies studies*. 2020. Vol. 5. № 4. P. 195-202.
5. Английский язык. 9 класс: учеб. для общеобразоват. учреждений / [Ю.Е. Ваулина, В. Эванс, Дж. Дули, О. Е. Подоляко] – 2-изд., доп. и перераб. – М.: Express Publishing: Просвещение, 2010. – 216 с.
6. Мошуров В.М., Сафонова Т.В., Вершинин А.К., Ясников А.И., Логинов И.С. Область применения агентных платформ Информационные технологии и системы: управление, экономика, транспорт, право. 2023. № 1 (45). С. 46-52.
7. Ясников А.И., Сафонова Т.В., Рускин В.Д., Логинов И.С., Мошуров В.М. Использование технологий виртуальной реальности в обучении Информационные технологии и системы: управление, экономика, транспорт, право. 2023. № 1 (45). С. 60-69.
8. Булгакова А.В., Сафонова Т.В. Область применения гиперавтоматизации в условиях цифровой трансформации производства Информационные технологии и системы: управление, экономика, транспорт, право. 2023. № 2 (46). С. 77-82.
9. Субботина В.В., Сафонова Т.В. Раскрытие ключевой роли Data-Engineering в современной работе с данными Информационные технологии и системы: управление, экономика, транспорт, право. 2023. № 2 (46). С. 83-88.
10. Айзенберг С.А., Сафонова Т.В. Мультиагентные системы в симуляции трафика Информационные технологии и системы: управление, экономика, транспорт, право. 2022. № 2 (42). С. 78-83.

## References

1. Bykadyrova E. S. Gamification in education // *Modern scientific research and development*. 2018. No.12(29). pp. 178-180.
2. Madaev, S. M. Gamification in education: how game mechanics helps to increase motivation and knowledge of students / S. M. Madaev, S. H. Alikhajiev // *Trends in the development of science and education*. - 2023. – No. 103-1. – pp. 115-117.
3. Wang, L.H., Chen, B., Hwang, G.J. et al. Effects of digital game-based STEM education on students' learning achievement: a meta-analysis. *IJ STEM Ed* 9, 26 (2022). [Electronic resource]. - URL: <https://doi.org/10.1186/s40594-022-00344-0> (Date of access: 05/14/2024).
4. Lavrenova E.V., Belopolskiy V.A., Melentiev V.V., Rozhdestvenskiy I.V. Gamification and VR Technologies in Application to Teaching Practical Foreign Language Skills [electronic text] // *Culture and technologies studies*. 2020. Vol. 5. № 4. P. 195-202.

5. English language. 9th grade: studies. for general use. institutions / [Yu.E. Vaulina, V. Evans, J. Dooley, O. E. Podolyako] – 2nd ed., additional and revised – M.: Express Publishing: Enlightenment, 2010. – 216 p
  6. Moshurov V.M., Safonova T.V., Vershinin A.K., Yasnikov A.I., Loginov I.C. The scope of application of agent platforms Information technologies and systems: management, economics, transport, law. 2023. No. 1 (45). pp. 46-52.
  7. Yasnikov A.I., Safonova T.V., Ruskin V.D., Loginov I.S., Moshurov V.M. The use of virtual reality technologies in teaching Information technologies and systems: management, economics, transport, law. 2023. No. 1 (45). pp. 60-69.
  8. Bulgakova A.V., Safonova T.V. The scope of hyperautomatization in the context of digital transformation of production Information technologies and systems: management, economics, transport, law. 2023. No. 2 (46). pp. 77-82.
  9. Subbotina V.V., Safonova T.V. Disclosure of the key role of Data-Engineering in modern work with data Information technologies and systems: management, economics, transport, law. 2023. No. 2 (46). pp. 83-88.
  10. Aizenberg S.A., Safonova T.V. Multi-agent systems in traffic simulation Information technologies and systems: management, economics, transport, law. 2022. No. 2 (42). pp. 78-83.
-



Международный журнал информационных технологий и  
энергоэффективности

Сайт журнала:

<http://www.openaccessscience.ru/index.php/ijcse/>



УДК 004.9

## ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ФАБРИКИ ДАННЫХ

**Тикки Д.А., Никольский В.Е., Самошкин Н.С., Сафонова Т.В., <sup>1</sup>Мокряк А.В.**  
*ФГБОУ ВО "РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ" Санкт-Петербург, Россия (192007, город Санкт-Петербург, Воронежская ул., д. 79)*

<sup>1</sup>*ФГБОУ ВО "САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ГОСУДАРСТВЕННОЙ ПРОТИВОПОЖАРНОЙ СЛУЖБЫ МИНИСТЕРСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ ПО ДЕЛАМ ГРАЖДАНСКОЙ ОБОРОНЫ, ЧРЕЗВЫЧАЙНЫМ СИТУАЦИЯМ И ЛИКВИДАЦИИ ПОСЛЕДСТВИЙ СТИХИЙНЫХ БЕДСТВИЙ ИМЕНИ ГЕРОЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ ГЕНЕРАЛА АРМИИ Е.Н.ЗИНИЧЕВА", Санкт-Петербург, Россия (196105, г.Санкт-Петербург, Московский проспект, д.149), e-mail: mokryakanna@mail.ru*

В данной работе исследуется применение технологии фабрики данных в современных информационных системах. Фабрика данных является эффективным инструментом для управления, хранения и обработки больших объемов данных. Рассматриваются основные принципы построения фабрики данных, ее основные компоненты и преимущества от ее использования. Также рассматриваются основные вызовы и проблемы, с которыми сталкиваются организации при внедрении фабрики данных.

В работе проводится анализ существующих методов и подходов к реализации фабрики данных, а также оцениваются их преимущества и недостатки. Рассматривается роль фабрики данных в повышении эффективности бизнес-процессов и принятии обоснованных решений на основе данных.

В заключении делается вывод о том, что применение технологии фабрики данных является актуальным и перспективным направлением развития информационных систем. Рекомендации по внедрению фабрики данных в организации и ее использованию для оптимизации бизнес-процессов и принятия управленческих решений

Ключевые слова: Фабрика данных, управление данными, аналитика, инновации, безопасность данных, эффективность, будущее данных.

## APPLICATION OF DATA FACTORY TECHNOLOGY

**Tikki D.A., Nikolsky V.E., Samoshkin N.S., Safonova T.V., <sup>1</sup>Mokryak A.V.**  
*RUSSIAN STATE HYDROMETEOROLOGICAL UNIVERSITY, St. Petersburg, Russia (192007, St. Petersburg, Voronezhskaya str., 79)*

<sup>1</sup>*ST. PETERSBURG UNIVERSITY OF THE STATE FIRE SERVICE OF THE MINISTRY OF THE RUSSIAN FEDERATION FOR CIVIL DEFENSE, EMERGENCIES AND ELIMINATION OF CONSEQUENCES OF NATURAL DISASTERS NAMED AFTER THE HERO OF THE RUSSIAN FEDERATION, GENERAL OF THE ARMY E.N. ZINICHEV, St. Petersburg, Russia (196105, St. Petersburg, Moskovsky prospekt, 149), e-mail: <sup>1</sup>mokryakanna@mail.ru*

This paper examines the application of data factory technology in modern information systems. The data factory is an effective tool for managing, storing and processing large amounts of data. The basic principles of building a data factory, its main components and the benefits of using it are considered. The main challenges and problems faced by organizations when implementing a data factory are also considered.

The paper analyzes the existing methods and approaches to the implementation of the data factory, as well as assesses their advantages and disadvantages. The role of the data factory in improving the efficiency of business processes and making informed decisions based on data is considered.



---

**In conclusion, it is concluded that the use of data factory technology is an urgent and promising direction for the development of information systems. Recommendations for implementing a data factory in an organization and using it to optimize business processes and make management decisions..**

---

Keywords: Data factory, data management, analytics, innovation, data security, efficiency, the future of data.

## **Введение**

В эпоху, где структурированные данные становятся неотъемлемым ресурсом для принятия управленческих решений, концепция фабрики данных вступает в силу, предлагая компаниям уникальную возможность преобразовывать объемы информации в ценные знания. Фабрика данных — это не просто технологическое решение, но и философия управления данными, которая разбивает стену между разнородными источниками данных, создавая единую платформу для их сбора, обработки и анализа [1].

Эта инновационная концепция дает возможность компаниям не только управлять своими информационными ресурсами результативно, но и применять их для прогнозирования трендов, принятия аргументированных решений и создания стратегических преимуществ.

В данной обзорной статье по фабрике данных исследуем ее назначение, основные элементы, преимущества и недостатки, проанализируем будущие перспективы использования технологии, где она сможет стать ключевой составляющей по управлению информацией [1, 2].

## **Концепция технологии фабрики данных**

Фабрика данных представляет собой централизованную систему, разработанную для сбора, обработки, хранения и анализа данных с целью обеспечения эффективного управления информацией. Это инновационное решение, предназначенное для преодоления вызовов, связанных с растущим объемом данных в современных компаниях.

Основные характеристики фабрики данных:

1. Сбор данных: фабрика данных обеспечивает многоканальный сбор данных из различных источников, включая внутренние и внешние источники, устройства интернета вещей, социальные сети и другие.
2. Хранение данных: системы хранения данных в фабрике предоставляют надежное и масштабируемое хранилище, позволяя эффективно управлять разнообразными типами данных.
3. Обработка данных: процессы ETL (Extract, Transform, Load) автоматизированы для обеспечения качественной обработки данных, включая их очистку, трансформацию и загрузку.
4. Анализ данных: фабрика данных предоставляет инструменты для проведения разнообразного анализа, включая статистический, предсказательный, исследовательский анализ данных, а также машинное обучение [3, 4].

Причины перехода на использование фабрики данных:

1. Обеспечение единой точки доступа к данным, для облегчения их поиска и использования.
2. Оптимизация процессов сбора, обработки и анализа данных сокращает временные затраты и повышает эффективность.
3. Аналитика данных в фабрике предоставляет фирмам обширные знания для принятия обоснованных стратегических и операционных решений.

В фабрике данных процесс сбора данных является первым и критически важным этапом. Различные источники данных, такие как внутренние системы, веб-сервисы, датчики интернета вещей, социальные сети и внешние базы данных, служат основой для формирования информационного базиса [5].

1. Внутренние источники: фабрика данных интегрирует данные из различных подразделений компании, таких как финансы, маркетинг, продажи, что обеспечивает комплексное понимание внутренних процессов.

2. Внешние источники: информация из внешних источников, таких как рыночные исследования, статистика отрасли, также включается для создания более полного образа внешней среды.

3. Устройства интернета вещей: данные от сенсоров и устройств интернета вещей обеспечивают реальное время и контекстную информацию, что существенно для оперативных решений [6, 7].

Хранение данных в фабрике представляет собой фундаментальный аспект, где обеспечивается сохранность и доступность информации.

1. Хранилища данных: реляционные и нереляционные базы данных, хранилища данных в облаке и внутрипредприятийные хранилища обеспечивают оптимальное распределение и структурирование данных.

2. Безопасность данных: реализация мер безопасности, таких как шифрование, управление доступом и регулярное аудирование, гарантирует сохранность конфиденциальной информации [8].

Процессы ETL (Extract, Transform, Load) в фабрике данных обеспечивают эффективную обработку данных перед их загрузкой в хранилище.

1. Очистка данных: устранение ошибок, дубликатов и несоответствий для повышения качества данных.

2. Трансформация данных: преобразование данных в необходимый формат для обеспечения их совместимости и удобства анализа.

3. Загрузка данных: автоматизированный процесс загрузки данных в хранилище для последующего использования в аналитике.

Анализ данных в фабрике предоставляет компаниям инсайты, необходимые для принятия обоснованных решений.

1. Статистический анализ: использование методов статистики для выявления тенденций и паттернов в данных.

2. Предсказательный анализ: прогнозирование будущих событий на основе исторических данных и трендов.

3. Машинное обучение: применение алгоритмов машинного обучения для автоматического извлечения знаний из данных.

Фабрика данных, интегрируя эти компоненты, создает основу для оперативного и стратегического управления информацией в организации. Далее рассмотрим преимущества использования технологии фабрики данных [7].

### **Преимущества и недостатки фабрики данных: баланс инноваций**

Введение в мир фабрики данных невозможно без более глубокого понимания ее плюсов и минусов. Понимание преимуществ и недостатков фабрики данных играет решающую роль

в принятии решения о внедрении данного инновационного подхода к управлению информационными данными.

На Рисунке 1 отмечены основные преимущества технологии фабрики данных.



Рисунок 1 – Преимущества использования технологии фабрики данных

К недостаткам технологии фабрик данных можно отнести:

- сложность интеграции;
- риски безопасности;
- требования к ресурсам;
- необходимость культурных изменений;
- поддержка и обновления.

Понимание этих аспектов поможет предприятиям взвесить плюсы и минусы фабрики данных, прежде чем погружаться в мир инновационных подходов к управлению данными [9].

### **Примеры успешной реализации фабрики данных**

В мире быстро развивающихся технологий и данных, несколько ведущих компаний демонстрируют впечатляющий успех во внедрении и использовании фабрик данных, что привело к значительным улучшениям в их операционной эффективности и стратегической проницательности.

Amazon, гигант электронной коммерции, применяет фабрику данных для обработки и анализа огромных объемов данных от миллионов транзакций ежедневно. Фабрика данных Amazon обеспечивает бесперебойный сбор, хранение и анализ данных, что дает возможность точно предсказывать

Netflix, лидер в области потокового видео, использует фабрику данных для улучшения рекомендаций контента. Алгоритмы анализа данных в режиме реального времени обрабатывают информацию о просмотренных фильмах и предоставляют персонализированные рекомендации, что способствует удержанию аудитории [5].

Spotify, музыкальный стриминговый сервис, внедрил фабрику данных для анализа музыкальных предпочтений своих пользователей. Это позволяет Spotify создавать кураторские плейлисты, предлагать новые треки и улучшать общий пользовательский опыт [3].

Uber использует фабрику данных для обработки миллиардов транзакций поездок и анализа данных местоположения. Это позволяет компании оптимизировать маршруты, прогнозировать спрос и обеспечивать высокий уровень обслуживания клиентов [4].

Эти примеры являются иллюстрациями того, как успешное внедрение фабрики данных приводит к более эффективной работе компаний в условиях современной цифровой экономики [8, 9].

### **Вызовы и решения внедрения фабрики данных**

Вопреки своему впечатляющему потенциалу, внедрение фабрики данных не лишено вызовов. Компании, стремящиеся использовать это инновационное решение, часто сталкиваются с несколькими сложностями, которые требуют внимательного рассмотрения и стратегического подхода.

Интеграция данных из различных источников может стать сложной задачей из-за разнообразия форматов и структур данных. Решение включает в себя использование мощных инструментов ETL и разработку стандартов для обеспечения единообразия данных.

С увеличением количества собираемых данных возрастают и риски нарушения безопасности. Эффективные меры безопасности, такие как шифрование, регулярный мониторинг и обучение сотрудников, необходимы для предотвращения угроз и утечек.

Обработка и анализ больших объемов данных требует значительных вычислительных ресурсов. Облачные решения и технологии, такие как Apache Hadoop и Spark, могут предоставить масштабируемость для эффективной обработки больших данных [5].

Внедрение фабрики данных часто требует изменений в культуре и управлении организации. Недостаточная готовность сотрудников к новым технологиям и процессам может стать преградой. Решение включает в себя обучение и активное вовлечение персонала.

Фабрика данных требует постоянной поддержки и обновлений, чтобы оставаться актуальной и эффективной. Компании должны разработать стратегии по управлению жизненным циклом фабрики данных, включая регулярные обновления и мониторинг производительности.

Преодолев эти вызовы, компании могут наслаждаться преимуществами фабрики данных и эффективно использовать информацию для принятия стратегических решений. Однако ключевым моментом остается систематический подход и готовность к непрерывному улучшению.

### **Будущее фабрик данных – это эволюция информационного потока данных**

В мире постоянных инноваций и быстро меняющихся технологий фабрика данных становится ключевым компонентом успешной цифровой трансформации. Взгляд в будущее подсказывает, что эта эволюция информационного потока данных только начинается, и фабрики данных будут играть все более важную роль в повседневной деятельности компаний.

Фабрика данных будет активно использовать возможности искусственного интеллекта и машинного обучения для более точного прогнозирования, автоматизации процессов анализа

и создания персонализированных решений. Это откроет новые горизонты для бизнес-аналитики и предсказательной аналитики.

Фабрики данных будут все чаще полагаться на облачные технологии для повышения гибкости, масштабируемости и доступности. Это позволит компаниям эффективно использовать ресурсы в облаке, обеспечивая высокую производительность и сокращая затраты на инфраструктуру.

С ростом числа устройств интернета вещей, фабрика данных будет активно вовлечена в обработку и анализ данных от сенсоров и устройств. Это откроет новые возможности для предсказательного обслуживания, мониторинга состояния оборудования и улучшения операционной эффективности.

DataOps, как эволюция DevOps в сфере управления данными, станет неотъемлемой частью фабрик данных. Это подразумевает ускорение цикла разработки данных, автоматизацию процессов и активное взаимодействие между различными отделами компании [3, 6].

Развитие технологий визуализации данных позволит более наглядно и эффективно представлять результаты анализа. Интерактивные дашборды и интуитивные отчеты станут стандартом, обеспечивая легкий доступ к ценной информации для решений на разных уровнях управления.

Будущее фабрик данных обещает бескрайние возможности для инноваций и улучшений в управлении данными. Компании, готовые к адаптации и внедрению новых технологий, смогут максимально воспользоваться преимуществами, которые фабрика данных предоставляет в стремительно развивающемся цифровом мире [10].

## **Выводы**

В завершение проведенного исследования мира фабрик данных, становится ясным, что эта концепция не просто инструмент, но кладезь потенциала для компаний, стремящихся выйти вперед в эпохе данных. Фабрика данных не только упрощает процессы управления информацией, но и становится стержнем для инноваций, определяя будущий характер работы компаний в цифровой эре.

Надежность в обработке данных, стремительный доступ к информации, защита конфиденциальности и постоянное развитие — вот критические составляющие, делающие фабрику данных ценным активом для предприятия.

Сегодня, когда бизнес-ландшафт стремительно эволюционирует, умение преобразовывать массы данных в ценную информацию становится ключевым преимуществом. Фабрика данных, в свою очередь, представляет собой инструмент этого преобразования, открывая перед компаниями бескрайние горизонты возможностей.

Внедрение фабрики данных — это не просто инвестиция в технологии, но и в стратегическое видение будущего, где данные становятся неотъемлемой частью принятия решений и инноваций. Это путеводитель к тому, как преобразовать данные в ценный ресурс, способствующий успеху и росту компании.

Таким образом, фабрика данных остается не просто технологическим инструментом, но вехой в эпохе данных, где компании обретают не только возможность управлять информацией, но и преобразовывать ее в источник вдохновения, инноваций и устойчивого развития.

## Список литературы

1. Рекомендательные системы: принцип работы и порядок разработки. Электронный ресурс – Режим доступа: <https://www.simbirsoft.com/blog/machine-learning-ne-tolko-neyronki/> (Дата обращения 10.04.2024)
2. Булгакова А.В., Сафонова Т.В., Кутикова В.С. Классификация нейронных сетей Информационные технологии и системы: управление, экономика, транспорт, право. 2023. №1 (45). С.11-18
3. Современная платформа данных: подробное руководство. Электронный ресурс – Режим доступа: <https://www.fivetran.com/learn/modern-data-architecture> (Дата обращения 11.04.2024)
4. Булгакова А.В., Сафонова Т.В., Диденко А.Ю. Этапы разработки и внедрения нейронной сети в проект Информационные технологии и системы: управление, экономика, транспорт, право. 2023. №1 (45). С.87-92.
5. DevOps. Электронный ресурс – Режим доступа: <https://www.linkedin.com/pulse/devops-dataops-mlops-aiops-key-elements-what-engineer-jhagc9tf#:~:text=DataOps%20is%20an%20approach%20to,quality%2C%20and%20data%20delivery%20processes.> (Дата обращения 12.04.2024)
6. AWS Migration Hub. Электронный ресурс – Режим доступа: <https://aws.amazon.com/ru/migration-hub/> (Дата обращения 13.04.2024)
7. Сафонова Т.В., Колбина О.Н., Истомин Е.П., Каламбет М.В., Яготинцева Н.В., Peculiarities of creating a database for the IoT system of urban forest management in the city of St. Petersburg IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021
8. Тикки Д.А., Никольский В.Е., Сафонова Т.В., Самошкин Н.С., Авакян Е.В. Использование облачных технологий для оптимизации бизнес-процессов Информационные технологии и системы: управление, экономика, транспорт, право. 2023. № 1 (45). С. 76-79.
9. Полтавцева Е.А., Сафонова Т.В. Облачные решения для развития производства Информационные технологии и системы: управление, экономика, транспорт, право. 2023. № 1 (45). С. 80-86.
10. Субботина В.В., Сафонова Т.В. Раскрытие ключевой роли Data-Engineering в современной работе с данными Информационные технологии и системы: управление, экономика, транспорт, право. 2023. № 2 (46). С. 83-88.

## References

1. Recommender systems: operating principle and development procedure. Electronic resource – Access mode: <https://www.simbirsoft.com/blog/machine-learning-ne-tolko-neyronki/> (Date of access: 04/10/2024)
2. Bulgakova A.V., Safonova T.V., Kutikova V.S. Classification of neural networks Information technologies and systems: management, economics, transport, law. 2023. No. 1 (45). P.11-18
3. The Modern Data Platform: A Comprehensive Guide. Electronic resource – Access mode: <https://www.fivetran.com/learn/modern-data-architecture> (Date of access: 04/11/2024)

4. Bulgakova A.V., Safonova T.V., Didenko A.Yu. Stages of development and implementation of a neural network in a project Information technologies and systems: management, economics, transport, law. 2023. No. 1 (45). P.87-92.
  5. DevOps. Electronic resource – Access mode: <https://www.linkedin.com/pulse/devops-dataops-mlops-aiops-key-elements-what-engineer-jha-gc9tf#:~:text=DataOps%20is%20an%20approach%20to,quality%2C%20and%20data%20delivery%20processes>. (Date of access: 04/12/2024)
  6. AWS Migration Hub. Electronic resource – Access mode: <https://aws.amazon.com/ru/migration-hub/> (Date of access: 04/13/2024)
  7. Safonova T.V., Kolbina O.N., Istomin E.P., Kalambet M.V., Yagotintseva N.V., Peculiarities of creating a database for the IoT system of urban forest management in the city of St. . Petersburg IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021
  8. Tikki D.A., Nikolsky V.E., Safonova T.V., Samoshkin N.S., Avakyan E.V. Using cloud technologies to optimize business processes Information technologies and systems: management, economics, transport, law. 2023. No. 1 (45). pp. 76-79.
  9. Poltavtseva E.A., Safonova T.V. Cloud solutions for production development Information technologies and systems: management, economics, transport, law. 2023. No. 1 (45). pp. 80-86.
  10. Subbotina V.V., Safonova T.V. Disclosure of the key role of Data-Engineering in modern work with data Information technologies and systems: management, economics, transport, law. 2023. No. 2 (46). pp. 83-88.
-



Международный журнал информационных технологий и  
энергоэффективности

Сайт журнала:

<http://www.openaccessscience.ru/index.php/ijcse/>



УДК 004.7

## МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ БЕСПРОВОДНЫХ СЕТЕЙ: ТЕХНОЛОГИИ И МЕТОДЫ

<sup>1</sup>Баженов А.Э., Тамбовцев Д.А.

ФГБОУ ВО «ПОВОЛЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ И ИНФОРМАТИКИ», Самара, Россия (443010, г. Самара ул. Льва Толстого, 23), e-mail: <sup>1</sup>artembazhenov2000@gmail.com

В статье рассматривается развитие беспроводных и проводных сетей в контексте глобальной цифровизации. Анализируются ключевые аспекты моделирования и оптимизации сетей Wi-Fi и LTE, включая статистические методы для оценки производительности и анализа трафика. Особое внимание уделено новым стандартам Wi-Fi 6 и Wi-Fi 6E, которые обещают значительное увеличение пропускной способности и улучшенную устойчивость к помехам. В статье также обсуждается влияние технологий 5G и развития искусственного интеллекта на оптимизацию сетевых операций, а также роль проводного интернета в поддержании стабильности и надежности коммуникационных систем.

Ключевые слова: Беспроводные сети, проводной интернет, Wi-Fi 6 и 6E, LTE и 5G, искусственный интеллект, моделирование сетей, оптимизация сетей, технологии связи.

## MODELING AND OPTIMIZATION OF WIRELESS NETWORKS: TECHNOLOGIES AND METHODS

<sup>1</sup>Bazhenov A.E., Tambovtsev D.A.

VOLGA REGION STATE UNIVERSITY OF TELECOMMUNICATIONS AND INFORMATICS, Samara, Russia (443010, Samara, Lva Tolstogo str., 23), e-mail: <sup>1</sup>artembazhenov2000@gmail.com

The article examines the development of wireless and wired networks in the context of global digitalization. It analyzes key aspects of modeling and optimizing Wi-Fi and LTE networks, including statistical methods for performance assessment and traffic analysis. Special attention is given to the new Wi-Fi 6 and Wi-Fi 6E standards, which promise significant increases in bandwidth and improved interference resistance. The article also discusses the impact of 5G technologies and the development of artificial intelligence on network operation optimization, as well as the role of wired internet in maintaining the stability and reliability of communication systems.

Keywords: Wireless networks, wired internet, Wi-Fi 6 and 6E, LTE and 5G, artificial intelligence, network modeling, network optimization, communication technologies.

В эпоху глобальной цифровизации, беспроводные сети, такие как Wi-Fi и LTE, являются основой для мобильной связи и доступа к данным. Эти технологии постоянно развиваются, причем каждое новое поколение предлагает улучшения в скорости передачи данных и устойчивости к помехам. Основной задачей для специалистов в области телекоммуникаций является моделирование и оптимизация этих сетей для достижения максимальной производительности [1].

Моделирование сетей Wi-Fi и LTE включает в себя статистические методы для оценки производительности и анализа трафика. Современные стандарты Wi-Fi, такие как 802.11ac (Wi-Fi 5), 802.11ax (Wi-Fi 6) и (Wi-Fi 6E) обеспечивают улучшенную пропускную способность



и надежность, что требует точного анализа и тестирования в условиях высокой загрузки сети. Согласно данным Wi-Fi Alliance, Wi-Fi 6 способен увеличить общую производительность сети на 40-50% в условиях высокой плотности устройств, а также повысить устойчивость к помехам [2].

Wi-Fi 6E, расширяя возможности Wi-Fi 6, добавляет доступ к частотному спектру 6 ГГц, что увеличивает количество каналов и снижает помехи, идеально подходя для задач с высокими требованиями к пропускной способности и низкой задержке. По оценкам экспертов, дополнительные каналы 6 ГГц могут удвоить или даже утроить пропускную способность в средах с высокой загрузкой, по сравнению с Wi-Fi 6. Разрабатываемый стандарт Wi-Fi 7 (802.11be) обещает ещё большую скорость и эффективность, с новыми технологиями управления каналами и передачи данных, такими как 320 МГц каналы и улучшенный многопользовательский MIMO, что делает его идеальным для применений, требующих максимальной пропускной способности и минимальной задержки.

Адаптивные алгоритмы Beamforming и MIMO (множественный ввод/множественный вывод), активно используемые в современных беспроводных сетях Wi-Fi 6 и LTE-Advanced, динамически изменяют направление и распределение сигнала, улучшая покрытие и снижая помехи. Исследования показали, что Beamforming снижает уровень помех на 30-40% в условиях высокой плотности устройств. Технология MIMO использует несколько антенн для передачи и приема данных, улучшая скорость передачи и качество соединения. Ее расширенный вариант, MU-MIMO, позволяет маршрутизатору передавать данные одновременно нескольким устройствам, улучшая общую пропускную способность и стабильность сети [3].

Переход от LTE к 5G ознаменовал новую эпоху в развитии мобильной связи, предлагая не только значительно увеличенные скорости передачи данных (средние скорости — 1-2 Гбит/с, а пиковые — до 10 Гбит/с) и сниженные задержки (до 1 мс), но и возможность интеграции с интернетом вещей (IoT), что делает возможным подключение до миллиона устройств на квадратный километр. Согласно исследованиям, к 2023 году ожидается, что более 1,5 миллиарда человек будет пользоваться сетями 5G, что составляет около 40% населения земного шара. Это требует новых методов моделирования сетевых нагрузок и анализа трафика, чтобы специалисты могли эффективно управлять ресурсами в условиях резкого роста числа устройств и объема данных. Тестирование в реальных условиях показало, что 5G обеспечивает до пятикратного увеличения скорости по сравнению с LTE при одновременном снижении задержки на 50-90%, что открывает новые возможности для таких областей, как автономный транспорт, телемедицина и промышленный интернет вещей (IIoT).

Перспективы моделирования и оптимизации беспроводных сетей во многом зависят от развития искусственного интеллекта (ИИ) и машинного обучения (МО), которые могут существенно усовершенствовать процессы анализа и адаптации сетей. Системы на основе ИИ способны выявлять паттерны в потоках данных и предсказывать пиковые нагрузки, автоматически перенаправляя трафик или корректируя параметры сети в реальном времени. Внедрение алгоритмов МО в сети одного из европейских операторов связи привело к снижению перегрузок на 30% и увеличению эффективности использования частотного спектра на 20%. Кроме того, использование ИИ помогает распознавать аномалии и предвидеть потенциальные сбои, что позволяет операторам проактивно реагировать на проблемы, минимизируя время простоя [4-5].

Проводной интернет, использующий Ethernet технологию, обеспечивает стабильное и высокоскоростное подключение, что делает его предпочтительным выбором для организаций, требующих надежной связи. Стандарты Ethernet, такие как 1000BASE-T (1 Гбит/с) и более новые 10GBASE-T и 100GBASE-T, предлагают значительно высшие скорости передачи данных по сравнению с большинством домашних Wi-Fi сетей. Тем не менее, последние разработки в области Wi-Fi, такие как Wi-Fi 6 и предстоящий Wi-Fi 7, начинают серьезно конкурировать с проводными соединениями, предлагая сопоставимые скорости передачи данных и значительно улучшенную устойчивость к помехам. Wi-Fi 6, например, может достигать скоростей до 9.6 Гбит/с на теоретическом уровне, что приближает его к скоростям, доступным в современных проводных сетях. Однако в реальных условиях скорость Wi-Fi часто ограничивается расстоянием до маршрутизатора и количеством препятствий, таких как стены и другие помехи, что редко является проблемой для проводных сетей [6].

Современные методы моделирования и оптимизации сетей продолжают развиваться, чтобы справляться с ростом спроса на высокоскоростную связь и стабильную передачу данных. Эта тенденция усиливается с развитием сетей 5G и проникновением технологий интернета вещей, создавая новые возможности для повышения производительности и надежности беспроводных сетей в ближайшие годы.

### Список литературы

1. Влияние 5G на Wi-Fi 6 (802.11ax). Электронный ресурс. URL: [https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-5g-na-wi-fi-6-802-11ax/viewer] (дата обращения: 09.05.2024).
2. Всё, что нужно знать о Wi-Fi 6. Электронный ресурс. URL: [https://lifel hacker.ru/wi-fi-6/] (дата обращения: 09.05.2024).
3. The Impact of 5G Technology on Wi-Fi 6 Deployments. Электронный ресурс. URL: [https://www.mdpi.com/1999-5903/14/10/293] (дата обращения: 09.05.2024).
4. LTE в смартфоне: что это такое и как работает. Электронный ресурс. URL: [https://www.mvideo.ru/blog/pomogaem-razobratsya/lte-v-smartfone-chto-eto-takoe-i-kak-rabotaet] (дата обращения: 09.05.2024).
5. Стандарты Wi-Fi. Электронный ресурс. URL: [https://1234g.ru/wifi/standarty-wifi] (дата обращения: 09.05.2024).
6. Технология MIMO: что это и зачем нужно. Электронный ресурс. URL: [https://dalsvyaz.ru/articles/tekhnologiya-mimo-chto-eto-i-zachem-nuzhno] (дата обращения: 09.05.2024)..

### References

1. The Impact of 5G on Wi-Fi 6 (802.11ax). Electronic resource. URL: [https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-5g-na-wi-fi-6-802-11ax/viewer] (accessed: 09.05.2024).
2. Everything You Need to Know About Wi-Fi 6. Electronic resource. URL: [https://lifel hacker.ru/wi-fi-6/] (accessed: 09.05.2024).
3. The Impact of 5G Technology on Wi-Fi 6 Deployments. Electronic resource. URL: [https://www.mdpi.com/1999-5903/14/10/293] (accessed: 09.05.2024).

4. LTE in Smartphones: What It Is and How It Works. Electronic resource. URL: [https://www.mvideo.ru/blog/pomogaem-razobratsya/lte-v-smartfone-cto-eto-takoe-i-kak-rabotaet] (accessed: 09.05.2024).
  5. Wi-Fi Standards. Electronic resource. URL: [https://1234g.ru/wifi/standarty-wifi](https://1234g.ru/wifi/standarty-wifi)(accessed: 09.05.2024).
  6. MIMO Technology: What It Is and Why It Is Needed. Electronic resource. URL: [https://dalsvyaz.ru/articles/tekhnologiya-mimo-cto-eto-i-zachem-nuzhno] (accessed: 09.05.2024).
-



Международный журнал информационных технологий и  
энергоэффективности

Сайт журнала:

<http://www.openaccessscience.ru/index.php/ijcse/>



УДК 004.056

## АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР КРИПТОГРАФИЧЕСКИХ АТАК НА SHA-512

<sup>1</sup>Шаханова М.В., Евдокимов И.С., Шаханова Э.С.

ФГБОУ ВО «МОРСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ АДМИРАЛА Г.И. НЕВЕЛЬСКОГО», Владивосток, Россия (690003, г. Владивосток, ул. Верхнепортовая, д.50а),  
e-mail: <sup>1</sup>marinavl2007@yandex.ru

**В данной статье будут рассмотрены известные аналитические атаки на SHA-512.**

Ключевые слова: криптография, информационная безопасность, хеш-функции, SHA-512.

## ANALYTICAL REVIEW OF CRYPTOGRAPHIC ATTACKS ON SHA-512

<sup>1</sup>Shakhanova M.V., Evdokimov I.S., Shakhanova E.S.

MARITIME STATE UNIVERSITY NAMED AFTER ADMIRAL G.I. NEVELSKOY, Vladivostok, Russia (690003, Vladivostok, st. Verkhneportovaya, 50a), e-mail: <sup>1</sup>marinavl2007@yandex.ru

**This paper will consider the well-known analytical attacks on SHA-512.**

Keywords: cryptography, information security, hash functions, SHA-512.

### Семейство криптографических протоколов SHA-2

SHA-512 – это один из алгоритмов хеширования, используемых для вычисления криптографических хеш-сумм сообщений или данных. Он создан для обеспечения безопасности и целостности данных, а также для проверки целостности файлов и сообщений. SHA-512 является частью семейства алгоритмов SHA-2 и использует структуру Меркла-Дамгарда из функции одностороннего сжатия, которая в свою очередь использует структуру Дэвиса-Мейера из специализированного блочного шифра. Алгоритм обрабатывает сообщения блоками длиной 1024 бит и генерирует хеш-значение фиксированной длины, которое уникально для каждого входного сообщения. SHA-512 обладает высокой стойкостью к коллизиям и широко применяется в криптографических целях, таких как цифровые подписи, аутентификация и хранение паролей.

### Атаки на SHA-512

SHA-512 до сих пор считается одним из самых криптостойких, а главное тщательно изученных алгоритмов хеширования. Несмотря на непрекращающиеся исследования, относительно удачные атаки (по затратам памяти и сложности вычислений) были проведены только с неполным количеством раундов хеширования. Для полного же количества раундов SHA-512 (80) по-прежнему требуется произвести 2512 операций для нахождения прообраза, или же 2256 для нахождения коллизий.

Так как каждая атака является комплексным теоретическим исследованием на десятки страниц, ниже будут приведены лишь их краткие резюме, а самое главное – динамика прогресса в криптоанализе SHA-512.

### Коллизионная атака

Как было сказано ранее, все известные на сегодняшний день успешные атаки на SHA-512 были проведены только с неполным количеством раундов. И хотя нахождение коллизий при неполном количестве раундов и не несёт большой практической пользы, само их наличие говорит о потенциальных уязвимостях исследуемой хеш-функции с последующей возможностью вычислять коллизии для полного количества раундов.

Нахождение коллизий представляет собой решение огромного количества связанных между собой линейных систем уравнений. Для этого используется 2 подхода:

1. Детерминированный – как правило, заключается в определённом выборе некоторых переменных, например, значениях  $W_i$ , либо начальных условий IV.
2. Вероятностный – случайный выбор значений переменных. Он может основываться на некоторых статистических данных (например, распределение некоторой случайной величины), либо же абсолютно случайным.

Однако зачастую используется комбинированный подход с использованием и детерминированного, и вероятностного методов.

Таким образом, ключевой метрикой атак становится не только затрата памяти и количество вычислительных операций, но и вероятность их успеха.

### Известные атаки

1. В 2008 году исследователям из Индийского Института Статистики удалось разработать подход для нахождения коллизии в 24 раундах хеширования из 80[1].

Они использовали комбинацию вероятностных и детерминированных подходов, в частности, пользуясь тем, что SHA-512 даёт свободу выбора значений слов  $W_0, W_1, \dots, W_{15}$ . Благодаря этому, например, можно также просчитать и последующие  $W_i$ :

$$\begin{aligned}W_{16} &= \sigma_1(W_{14}) + W_9 + \sigma_0(W_1) + W_0, \\W_{17} &= \sigma_1(W_{15}) + W_{10} + \sigma_0(W_2) + W_1, \\W_{18} &= \sigma_1(W_{16}) + W_{11} + \sigma_0(W_3) + W_2, \\W_{19} &= \sigma_1(W_{17}) + W_{12} + \sigma_0(W_4) + W_3, \\W_{20} &= \sigma_1(W_{18}) + W_{13} + \sigma_0(W_5) + W_4, \\W_{21} &= \sigma_1(W_{19}) + W_{14} + \sigma_0(W_6) + W_5, \\&\dots\end{aligned}$$

где  $\sigma$  – это линейная функция расширения сообщения.

Для выбора слов  $W_0, W_1, W_2, W_3$ , которые обеспечат локальную коллизию, предлагается использовать следующий алгоритм их нахождения:

1. Для начала выбрать  $W_0$ , а также регистры  $a_2$  и  $a_3$  случайным образом.
2. Просчитать хеш-сумму с  $W_0$  и определить  $\Phi_0$ , где  $\Phi_i = \Sigma_0(a_i) + fMAJ(a_i, b_i, c_i) + \Sigma_1(e_i) + fIF(e_i, f_i, g_i) + h_i + K_{i+1}$ .
3. Имея  $a_2$  и  $a_3$ , определить  $e_7$  и  $e_6$ , используя CDE (Cross Dependence Equation – уравнение перекрёстной зависимости), где  $e_i = a_i + a_{i-4} - \Sigma_0(a_{i-1}) - fMAJ(a_{i-1}, a_{i-2}, a_{i-3})$ .
4. Определить  $C_4$ , используя формулу  $C_i = e_{i+5} - \Sigma_1(e_{i+4}) - fIF(e_{i+4}, e_{i+3}, e_{i+2}) - 2a_{i+1} - K_{i+5} + \Sigma_0(a_i)$ , а затем  $D$  по формуле:  
 $D = W_{16} - (\sigma_1(W_{14}) + C_4 + fMAJ(a_4, a_3, a_2) - \Phi_0 + W_0)$ , где  $W_{16} = \sigma_1(W_{14}) + C_4 - W_1 + fMAJ(a_4, a_3, a_2) - \Phi_0 + \sigma_0(W_1) + W_0$

5. Решить уравнение  $D = -W1 + \sigma_0(W1)$ , выбирая  $W1$  случайным образом.
6. Просчитать хеш-сумму с  $W1$ , чтобы определить регистры  $a1, b1, \dots, h1$ .
7. Определить  $\Phi1$  по данной выше формуле для  $\Phi_i$ , а затем найти  $W2$ , используя:  
 $W2 = a2 - (\Sigma(a1) + fMAJ(a1, b1, c1) + h1 + \Sigma1(e1) + fIF(e1, f1, g1) + K2)$ .
8. 6. Просчитать хеш-сумму с  $W2$ , чтобы определить регистры  $a2, b2, \dots, h2$ .
9. Определить  $\Phi2$  по данной выше формуле для  $\Phi_i$ , а затем найти  $W3$ , используя:  
 $W3 = a3 - (\Sigma(a2) + fMAJ(a2, b2, c2) + h1 + \Sigma1(e2) + fIF(e2, f2, g2) + K2)$ .
10. Рассчитать  $W17$  и  $W18$ , используя:  
 $W17 = \sigma_1(W15) + C5 - W2 + fMAJ(a5, a4, a3) - \Phi1 + \sigma_0(W2) + W1$   
 $W18 = \sigma_1(W16) + C6 - W3 + fMAJ(a6, a5, a4) - \Phi2 + \sigma_0(W3) + W2$ .
11.  $W0, W1, W2, W3$  окажутся подходящими, если:  
 $\sigma_1(W17 + 1) - \sigma_1(W17) = -\delta_1$  и  
 $\sigma_1(W18 - 1) - \sigma_1(W18) = \delta_2$ , где  
 $\delta_1 = \delta_{Wi+2}, \delta_2 = \delta_{Wi+3}$ ,  
 $\delta X = X' - X$ , а  $X'$  – битовая размерность.

В качестве одного из возможных методов оптимизации предлагается использовать таблицу с заранее просчитанными возможными значениями  $-W1 + \sigma_0(W1)$  для каждого  $W1$  (264), что не было использовано в данной работе, однако должно уменьшить количество вычислений с 232.5 до 232.

2. В 2014 удалось исследователям из Грацкого Технического Университета найти псевдо-коллизии в 38 раундах из 80[2]. Псевдо-коллизионная атака отличается от обычной коллизионной своей целью – компрессионной функцией, и зачастую может привести к дальнейшим успехам по поискам коллизий для всей хеш-функции.

В своей работе исследователи полагались на метод “guess-and-determine” (дословно – “угадай и определи”). Это одна из самых широко используемых техник в криптоанализе для восстановления неизвестных переменных в данной системе. Используя её, выбирается некоторый набор неизвестных переменных и их значения (guess), после чего с их помощью выводятся оставшиеся переменные (determine). В случае, если возникло противоречие, необходимо вернуться назад (backtracking) и выбрать другой набор переменных или их значения.

По сути, множество возможных параметров при использовании данного метода представляет из себя дерево, а сам выбор переменных и их значений – нахождение оптимального пути. Поэтому одной из главных задач становится распознавание и “отсечение” тупиковых ветвей при минимальном количестве вычислений. В этом может помочь:

1. Стратегия угадывания – определяет факторы выбора переменных. Например, выбирать их не случайным образом, а на основе некоторых характеристик.
2. Правила ветвления – определяют, каким именно образом на каждой итерации алгоритма поиска пути нужно выбирать ветвь в дереве.
3. Стратегия распространения – определяет, насколько тщательно нужно проверять новые выбранные переменные в уже просчитанных ранее уравнениях. При слишком поверхностных проверках противоречия будут возникать чаще, зато алгоритм отработает быстрее. При слишком тщательных – работа алгоритма замедлится, при этом противоречия будут выявляться на гораздо более ранних стадиях.

4. Стратегия бэктрекинга (возвращения назад) – определяет необходимые действия в случае обнаружения противоречия. Например, можно возвращаться всего на несколько шагов назад и выбирать другие переменные, либо же начинать работу алгоритма с самого начала (при этом убедиться, что программа не будет постоянно попадать на один и тот же неверный путь).

Данный метод имеет и другие возможные оптимизаций и продолжает активно развиваться и в наше время.

3. В 2016 почти той же группе исследователей из Грацкого Технического Университета удалось найти коллизию в 27 раундах из 80 и псевдо-коллизию в 39 раундах из 80[3].

На этот раз основной целью их исследования стали алгоритмы хеширования SHA-512/224 and SHA-512/256, которые схожи с основным алгоритмом SHA-512, однако применяют к результату усечение битности. Такой подход вместо, например, использования обычного SHA-256, а не SHA-512/256, применяется из-за более высокой скорости работы SHA-512 на 64-битных системах (так как длина слова тоже 64 бита).

Данное исследование во многом схоже с предыдущим, однако его более высокие результаты обусловлены несколько иным выбором характеристик на стадии “guess-and-determine”, что в подробности описано в самой статье.

#### Атака на прообраз

Данная атака привлекает куда меньшее количество исследователей, чем разработка методов поиска коллизий. Скорее всего, это можно объяснить тем, что шанс разработать эффективную коллизионную атаку гораздо выше, нежели атаку на прообраз. Так, известная атака на прообраз уже давно не криптостойкой хеш-функции MD5 в лучшем случае требует 239 операций, в то время как коллизионная атака – всего лишь 218.

Известные атаки на прообраз основываются на ещё одном широко используемом в криптоанализе методе “встречи посередине” (MITM, meet-in-the-middle), за счёт которого уменьшается количество требуемых операций, но увеличиваются затраты памяти. Применим не только к хеш-функциям, но и к симметричным алгоритмам шифрования. Рассмотрим его в контексте SHA-512.

Как правило, атаки на прообраз хеш-функции, построенной на основе структуры Меркла-Дамгора, основаны на атаке на псевдо-прообраз компрессионной функции. В свою очередь, многие компрессионные функции используют структуру Дэвиса-Мейера, которая базируется на блочном шифре  $E: EA(B) \oplus B$ , где  $A$  и  $B$  – либо промежуточные значения хеша, либо первоначальные значения сообщения. Тогда необходимо:

1. Разделить ключ  $A$  блочного шифра  $E$  на две независимые части  $A1$  и  $A2$ .
2. Случайным образом выбрать входные значения  $B$  шифра  $E$ .
3. Произвести “прямое” вычисление шифра, используя  $B$  и все возможные значения  $A1$ , затем сохранить полученные промежуточные значения в таблице  $TF$ .
4. Произвести “обратное” вычисление, используя  $h \oplus B$  и все возможные значения  $A2$ , затем сохранить полученные промежуточные значения в таблице  $TB$ .
5. Проверить, есть ли совпадения в таблицах  $TF$  и  $TB$ , которые и означают коллизию. Если есть – псевдо-прообраз  $h$  сгенерирован. Если нет – необходимо вернуться на шаг 2 с другим значением  $B$ .

В свою очередь, метод MITM может иметь различные вариации и оптимизации, сокращающие количество необходимых вычислений.

В 2009 году группе исследователей из Японского Университета Электро-Коммуникаций удалось разработать атаку на прообраз в 46 раундах из 80[4]. При этом для её реализации требуется произвести 2511.5 операций, что лишь немногим лучше полного перебора в 2512 операций. Атака полагается на уже описанный выше метод MITM, а также некоторые другие специфические техники.

На сегодняшний день алгоритм хеширования SHA-512 является криптостойким – не слишком многие известные теоретические атаки работают лишь при неполном количестве раундов. Однако, как уже было сказано, само их наличие уже указывает на возможные уязвимости в работе хеш-функции. К тому же, семейство SHA-2 по принципу своей работы во многом совпадает с семейством SHA-1, которое давно признано некриптостойким. Поэтому, вполне вероятно, что в ближайшие годы появятся гораздо более эффективные теоретические атаки, а возможно даже и практические. В то же время, NIST активно участвует в продвижении семейства SHA-3 – на данный момент в претендентах десятки различных хеш-функций, к которым предъявляются более строгие требования, чем к SHA-2. Именно их криптоанализом сейчас и занимается множество различных исследователей со всего мира. Впрочем SHA являются далеко не единственными криптостойкими функциями хеширования, среди популярных альтернатив – Vscrypt, Argon2 и другие, хотя у них и есть свои особенности применения

### Список литературы

1. Кристоф Добрауниг, Мария Эйхлседер, Флориан Мендель, Технологический университет Граца – Оценка безопасности SHA-224, SHA-512/224 и SHA-512/256.
2. Сомитра Кумар Санадхья, Палаш Саркар, Отдел прикладной статистики, Индийский статистический институт – Новые коллизийные атаки на 24-ступенчатый SHA-2
3. Мария Эйхлседер, Флориан Мендель, Мартин Шлаффер, Технологический университет Граца - Ветвящиеся эвристики в дифференциальном поиске коллизий с приложениями к SHA-512
4. Кристоф Добрауниг, Мария Эйхлседер, Флориан Мендель, Технологический университет Граца – Анализ SHA-512/224 и SHA-512/256.
5. Ю Сасаки, Лей Ван, Кадзумаро Аоки, Университет электрокоммуникаций - Прообразы атак на 41-ступенчатый SHA-256 и 46-ступенчатый SHA-512.
6. Т. Хансен, Internet Engineering Task Force - SHA-512 RFC.
7. Марк Стивенс, Арьен К. Ленстра, Бенне де Вегер – Предсказание победителя президентских выборов в США в 2008 году.

### References

1. Christoph Dobraunig, Maria Eichlseder, Florian Mendel, Graz University of Technology – Security Evaluation of SHA-224, SHA-512/224, and SHA-512/256
2. Somitra Kumar Sanadhyia, Palash Sarkar, Applied Statistics Unit, Indian Statistical Institute – New Collision attacks Against Up To 24-step SHA-2
3. Maria Eichlseder, Florian Mendel, Martin Schlaeffer, Graz University of Technology – Branching Heuristics in Differential Collision Search with Applications to SHA-512



4. Christoph Dobraunig, Maria Eichlseder, Florian Mendel, Graz University of Technology – Analysis of SHA-512/224 and SHA-512/256
  5. Yu Sasaki, Lei Wang, Kazumaro Aoki, The University of Electro-Communications – Preimage Attacks on 41-Step SHA-256 and 46-Step SHA-512
  6. T. Hansen, Internet Engineering Task Force – SHA-512 RFC.
  7. Marc Stevens, Arjen K. Lenstra, Benne de Weger – Predicting the winner of the 2008 US Presidential Elections
-



Международный журнал информационных технологий и энергоэффективности

Сайт журнала:

<http://www.openaccessscience.ru/index.php/ijcse/>



УДК 621.311.161

## АНАЛИЗ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ, КОНТРОЛЬ СОСТОЯНИЯ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ 10/0,4кВ

<sup>1</sup>Иванюк В.В., Симахин А.С.

ФГБОУ ВО «НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ «МЭИ», Москва, Россия (111250, г. Москва, Красноказарменная ул., 14, стр.1), e-mail: <sup>1</sup>vladislav\_man20@mail.ru

В данной статье рассмотрен анализ существующих вариантов систем индикации аварийного состояния в электросетях, рассмотрены их достоинства и недостатки.

Повысить надежность электроснабжения сельских электрических сетей (сократить время его перерыва, а также уменьшить зону поиска поврежденного участка в сети) можно с помощью использования системы распознавания аварийных ситуаций в распределительных сетях 10/0,4кВ, которая позволяет с остаточной степенью достоверности определить параметры различных режимов работы электрических сетей.

Ключевые слова: Индикации аварийного режима, надежность, модули контроля, эффективность.

## ANALYSIS OF TECHNICAL MEANS, MONITORING OF THE CONDITION OF 10/0.4KV DISTRIBUTION NETWORKS

<sup>1</sup>Ivanyuk V.V., Simakhin A.S.

"NATIONAL RESEARCH UNIVERSITY "MPEI", Moscow, Russia (111250, Moscow, Krasnokazarmennaya str., 14, bld.1), e-mail: <sup>1</sup>vladislav\_man20@mail.ru

This article discusses the analysis of existing options for emergency indication systems in power grids, considers their advantages and disadvantages. It is possible to increase the reliability of power supply to rural power grids (reduce the time of its interruption, as well as reduce the search area for a damaged section in the network) using an emergency recognition system in 10/0.4 kV distribution networks, which allows you to determine the parameters of various modes of operation of electric networks with a residual degree of reliability.

Keywords: Alarm indications, reliability, monitoring modules, efficiency

Контроль состояния распределительных сетей необходим различным организациям и специалистам, которые занимаются эксплуатацией, обслуживанием и ремонтом электросетей. Также контроль состояния распределительных сетей необходим в местах ограниченных данных со стороны потребителя, например, в садовых товариществах.

Для контроля состояния распределительных сетей можно использовать различные методы и технологии. Вот некоторые из них:

1. Визуальный осмотр. Регулярные осмотры позволяют выявить видимые повреждения, такие как обрыв проводов, повреждение изоляции, коррозия и т. д.
2. Измерение параметров. С помощью специальных приборов можно измерять напряжение, ток, сопротивление и другие параметры, которые могут указывать на неисправности в сети.
3. Мониторинг состояния оборудования. Современные системы мониторинга

позволяют отслеживать работу оборудования в режиме реального времени и оперативно реагировать на возможные неисправности.

4. Анализ данных. Сбор и анализ данных о работе сети позволяет выявить тенденции и закономерности, которые могут указывать на потенциальные проблемы.

5. Использование искусственного интеллекта и машинного обучения. Современные технологии позволяют автоматизировать процесс анализа данных и выявления потенциальных проблем.

6. Проведение испытаний и проверок. Регулярные испытания и проверки позволяют оценить работоспособность сети и выявить возможные неисправности.

7. Сотрудничество с потребителями. Получение обратной связи от потребителей о качестве электроснабжения позволяет выявить проблемы, которые не были обнаружены другими методами.

8. Обучение персонала. Повышение квалификации персонала, ответственного за эксплуатацию и обслуживание распределительных сетей, позволяет повысить эффективность контроля и обеспечить надёжное электроснабжение.

9. Внедрение системы управления активами. Использование системы управления активами позволяет оптимизировать процессы обслуживания и ремонта распределительных сетей.

Выбор конкретных методов и технологий зависит от особенностей распределительной сети, требований к надёжности электроснабжения и финансовых возможностей организации.

Аварийный режим в системе внешнего электроснабжения — это состояние, при котором электроснабжение объекта происходит с нарушениями или полностью отсутствует.

Аварийный режим может быть вызван различными факторами, такими как:

- повреждение оборудования на электростанции;
- обрыв линий электропередачи;
- неисправность в трансформаторной подстанции;
- перегрузка системы электроснабжения и т. д.

Системы индикации аварийного режима включают в себя различные датчики, устройства сбора и обработки данных, а также средства отображения информации. Датчики могут измерять параметры электрической сети, такие как напряжение, ток, частота и т. д. Устройства сбора и обработки данных преобразуют сигналы датчиков в информацию, которая может быть использована для анализа и принятия решений. Средства отображения информации предоставляют операторам информацию о состоянии системы электроснабжения в удобном для восприятия виде.

Для реализации системы индикации аварийного режима и дистанционного управления необходимо выполнить следующие шаги:

1. Выбор оборудования.

- Контроллер автоматизации. Это устройство будет обрабатывать данные от датчиков и отправлять команды на исполнительные механизмы.
- Датчики. Они будут отслеживать параметры системы и передавать информацию на контроллер.
- Исполнительные механизмы. Это устройства, которые будут выполнять команды контроллера, например, включать аварийную сигнализацию.

- GSM-модуль. Он позволит передавать данные и команды с телефона на контроллер и обратно.
  - Блок питания необходим для питания системы.
2. Разработка схемы подключения.
  3. Программирование контроллера.
  4. Настройка GSM-модуля. .
  5. Тестирование системы.
  6. Создание мобильного приложения.

Место установки рассматриваемых модулей схематично приведено на Рисунке 1.

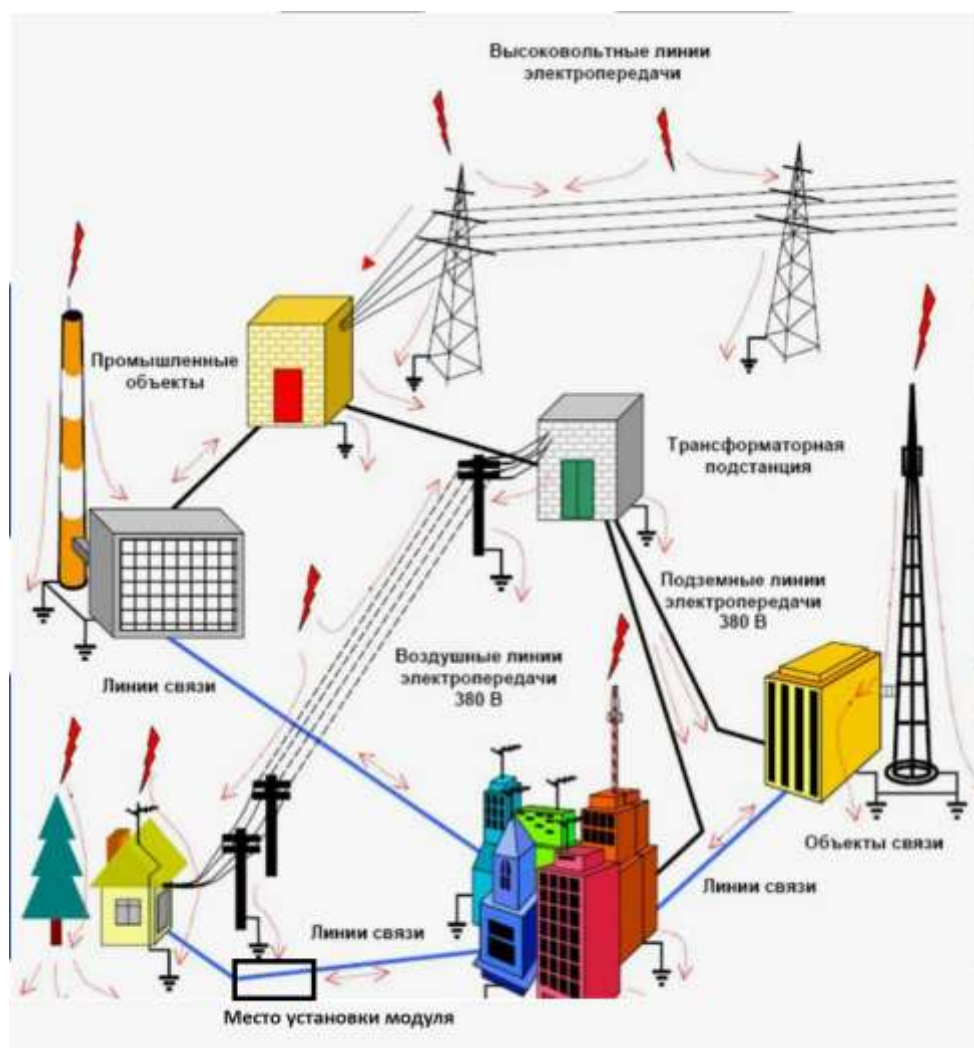


Рисунок 1 – Место установки рассматриваемых модулей

Рассматриваемые модули контроля состояния распределительных сетей 10/0,4кВ позволяют:

- контролировать параметры электрической сети;
- оперативно выявлять и устранять неисправности;
- повышать надёжность электроснабжения;
- снижать риск возникновения аварийных ситуаций;
- оптимизировать работу распределительных сетей.

Модули контроля состояния распределительных сетей 10/0,4 кВ устанавливаются в местах, где необходимо контролировать параметры электрической сети. Это:

- трансформаторные подстанции;
- распределительные щиты;
- другие элементы системы электроснабжения.

Модули контроля являются необходимыми устройствами в СНТ, малых предприятиях, где необходимо круглосуточное подключение электроэнергии для производственных нужд.

Проведем анализ существующих систем контроля состояния распределительных сетей 10/0,4кВ.

Решение, разработанное компанией «МЦИИТ Сервис» включает в себя следующие компоненты:

1. Контроллер iNode CE-35D. Это устройство может использоваться для сбора данных о состоянии системы электроснабжения и передачи их на сервер.
2. Сервер. Сервер может обрабатывать данные, полученные от контроллера, и принимать решения о том, какие действия необходимо предпринять в случае аварийного отключения электроснабжения.
3. Программное обеспечение. Программное обеспечение может обеспечивать удобный интерфейс для мониторинга состояния системы электроснабжения и управления ею.
4. Датчики и устройства связи. Датчики могут использоваться для сбора информации о состоянии системы электроснабжения, а устройства связи — для передачи этой информации на сервер [2].

Решение компании «МЦИИТ Сервис» может иметь следующие преимущества:

Повышение надёжности электроснабжения. Решение позволяет оперативно реагировать на аварийные отключения и восстанавливать электроснабжение ответственных потребителей.

Снижение рисков простоя оборудования. Решение позволяет минимизировать время простоя оборудования, что может привести к снижению убытков.

Улучшение качества обслуживания клиентов. Решение позволяет обеспечить бесперебойное электроснабжение, что может повысить удовлетворённость клиентов.

Стоимость контроллера iNode CE-35D в районе 50000 руб., стоимость установки системы в целом около 200 000 руб.

Модуль индикации аварийных ситуаций в электросетях TOPAZ HMI4 представляет собой устройство, которое помогает отслеживать и контролировать состояние электросети. Оно может быть полезно для различных организаций, где важна надёжность электроснабжения [3].

Модуль TOPAZ HMI4 может выполнять следующие функции:

- Отображать информацию о состоянии электросети в режиме реального времени.
- Информировать о возникновении аварийных ситуаций.
- Обеспечивать возможность дистанционного управления электросетью.
- Регистрировать события и сохранять данные для последующего анализа [3].

Модуль TOPAZ HMI4 может быть интегрирован в системы управления электроснабжением, что позволяет оперативно реагировать на аварийные ситуации и предотвращать их последствия.

Модуль индикации аварийных ситуаций в электросетях TOPAZ HMI4 обладает рядом преимуществ:

1. Своевременное информирование. Модуль позволяет своевременно получать информацию о состоянии электросети и оперативно реагировать на аварийные ситуации.

2. Дистанционное управление. Модуль предоставляет возможность дистанционного управления электросетью, что особенно полезно в случае возникновения аварийных ситуаций.

3. Регистрация событий. Модуль регистрирует события и сохраняет данные для последующего анализа, что позволяет выявить причины возникновения аварийных ситуаций и предотвратить их повторение.

4. Интеграция в системы управления. Модуль может быть интегрирован в системы управления электроснабжением, что обеспечивает более эффективное и надёжное функционирование электросети.

5. Надёжность и долговечность. Модуль изготовлен из высококачественных материалов и компонентов, что обеспечивает его надёжность и долговечность.

6. Простота установки и использования. Модуль имеет интуитивно понятный интерфейс и легко интегрируется в существующую систему электроснабжения.

7. Стоимость комплекта телемеханики ТОРАЗ около 400 000 руб.

Пример подключения модуля TOPAZ НМІ4 к сети приведен на Рисунке 2.

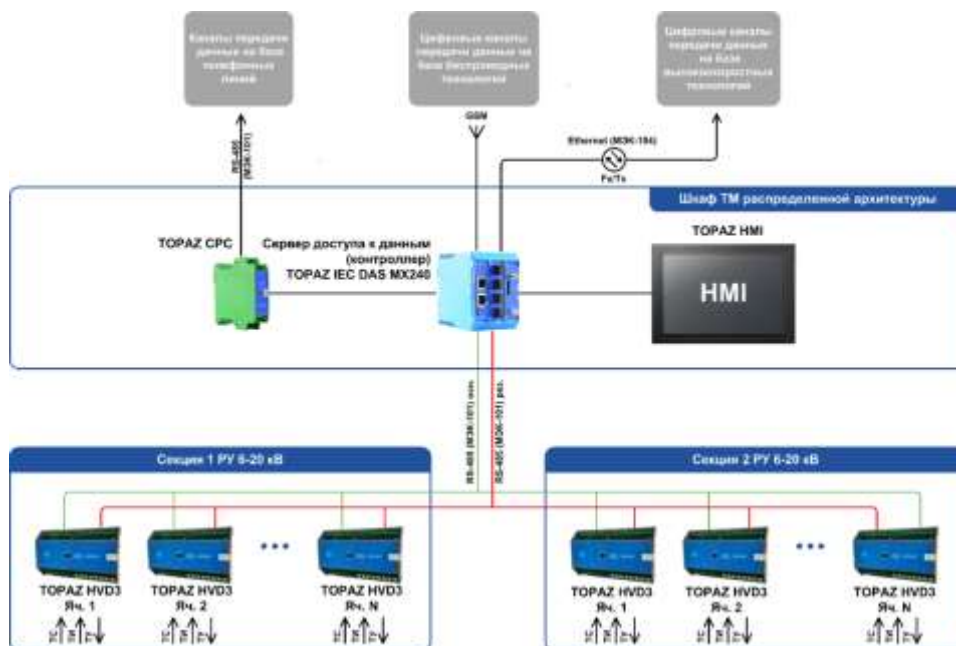


Рисунок 2 – Пример подключения модуля TOPAZ HMI4 к сети

Индикаторы короткого замыкания компании «Антракс» — это устройства, которые помогают быстро и точно определить место повреждения кабельной линии при коротком замыкании. Они используются для защиты электрических сетей и предотвращения аварийных ситуаций.

- ИКЗ компании «Антракс» имеют ряд преимуществ:
- высокая чувствительность и точность определения места повреждения;
- широкий диапазон рабочих температур;
- устойчивость к электромагнитным помехам;
- простота монтажа и эксплуатации;
- длительный срок службы [4].

ИКЗ устанавливаются на каждой фазе кабеля и при возникновении короткого замыкания подают сигнал на специальный приёмник. Приёмник определяет повреждённую фазу и расстояние до места повреждения. Это позволяет оперативно устранить неисправность и предотвратить дальнейшее развитие аварии. Стоимость комплекта телемеханики ИКЗ компании «Антракс» около 500 000 руб.

У рассматриваемых вариантов систем контроля состояния распределительных сетей 10/0,4кВ выделены недостатки.

Сложность установки. Рассматриваемые варианты требуют профессиональной установки и настройки, что может потребовать дополнительных затрат на услуги специалистов.

Ограниченная точность. Рассматриваемые варианты могут иметь некоторую погрешность в измерениях.

Зависимость от условий эксплуатации. Рассматриваемые варианты могут быть чувствительны к внешним факторам, таким как электромагнитные помехи или вибрации, что может повлиять на их точность.

Необходимость обслуживания. Рассматриваемые варианты требуют периодического обслуживания и проверки работоспособности.

Стоимость. Рассматриваемые варианты являются специализированными устройствами, и их стоимость варьируется от 200 000 руб. до 500 000 руб.

Сравнительная таблица рассматриваемых модулей приведена в Таблице 1.

Таблица 1 – Сравнительная таблица рассматриваемых модулей

	Контроллер iNode CE-35D	Модуль TOPAZ HMI4	ИКЗ компании «Антракс»
Интерфейс передачи данных	GSM/GPRS-модуль Ethernet-коммутатор Встроенный транслятор протоколов ModBus/RTU	RS-485 Modbus RTU	Bluetooth BLE GSM/GPRS-модем
Рабочий диапазон напряжения питания, В	+9	от +8 до +30	+24
Тип экрана	ЖК	ЖК	визуальная
Стоимость, руб.	200 000	400 000	500 000

Стоимость аварии в электросетях включает в себя следующие расходы:

- затраты на ремонт повреждённого оборудования;
- потери от недоотпуска электроэнергии потребителям;
- штрафы за несоблюдение договорных обязательств перед потребителями;
- расходы на расследование причин аварии и разработку мер по её предотвращению в будущем.

Если оценить примерную стоимость аварийного состояния в электросетях около 50 000 руб., то установка рассматриваемых вариантов оборудования окупится после 4-10 аварий.

## Выводы.

Существующие варианты систем индикации аварийного состояния в электросетях имеют хорошие показатели эксплуатации и надежности, но высокую стоимость при покупке. Несмотря на высокую цену, эти системы могут быть оправданы их надёжностью и

эффективностью. Применение данных систем в условиях ограниченных данных со стороны потребителя улучшит работу системы электроснабжения, например, в СНТ.

### Список литературы

1. Виноградов, А.В. Распознавание аварийных ситуаций в распределительных сетях 6-35 кВ / А.В. Виноградов, Н.С. Сорокин, И.С. Сорокин / Вести высших учебных заведений Черноземья, 2008, №2(12), С. 16-18.
2. Контроллер iNode CE-35D. Электронный ресурс: <https://plcontroller.ru/product/setevoy-kontroller-inode-ce-35d/>
3. Модуль TOPAZ HMI4. Электронный ресурс: <https://tpz.ru/production/vspomogatelnoe-oborudovanie/topaz-hmi4-display-module/>
4. ИКЗ компании «Антракс». Электронный ресурс: [https://gkatom.com/media/catalog/vendor/Katalog\\_Antraks\\_Diagnostika%20linij%20jelektroperedachi.pdf](https://gkatom.com/media/catalog/vendor/Katalog_Antraks_Diagnostika%20linij%20jelektroperedachi.pdf).

### References

1. Vinogradov, A.V. Recognition of emergency situations in distribution networks of 6-35 kV / A.V. Vinogradov, N.S. Sorokin, I.S. Sorokin / Vesti vesti vysshee vysshee obrazovaniya Chernozemya, 2008, No. 2(12), pp. 16-18.
  2. Controller iNode CE-35D. Electronic resource: <https://plcontroller.ru/product/setevoy-kontroller-inode-ce-35d/>.
  3. TOPAZ HMI4 module. Electronic resource: <https://tpz.ru/production/vspomogatelnoe-oborudovanie/topaz-hmi4-display-module/>
  4. ICZ of "Antrax" company. Electronic resource: [https://gkatom.com/media/catalog/vendor/Katalog\\_Antraks\\_Diagnostika%20linij%20jelektroperedachi.pdf](https://gkatom.com/media/catalog/vendor/Katalog_Antraks_Diagnostika%20linij%20jelektroperedachi.pdf)
-





Международный журнал информационных технологий и  
энергоэффективности

Сайт журнала:

<http://www.openaccessscience.ru/index.php/ijcse/>



УДК 539.37

## ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ ПОДЗЕМНОГО МАГИСТРАЛЬНОГО ГАЗОПРОВОДА ИЗ ПОЛИЭТИЛЕНА ПРИ СЕЙСМОВЗРЫВНОМ ВОЗДЕЙСТВИИ

<sup>1</sup>Афанасьев П.И., <sup>2</sup>Трегуб Н.А.

ФГБОУ ВО «САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМПЕРАТРИЦЫ ЕКАТЕРИНЫ II», Санкт-Петербург, Россия (199106, г. Санкт-Петербург, 21-я линия Васильевского острова, 2-4/45), e-mail: <sup>1</sup>Afanasev\_Pi@pers.spmi.ru, <sup>2</sup>nn.tgb@mail.ru

Использование трубопроводов из полиэтилена (ПЭ) в последние годы становится все более распространенным, лишь немногие исследования посвящены их сейсмической устойчивости при воздействии сейсмовзрывных волн. Для установления их сейсмостойкости необходимо тщательно изучить динамическую реакцию подземных трубопроводов, подвергшихся воздействию взрывных волн. В данном исследовании рассматривали динамическую реакцию от сейсмовзрывного воздействия на полиэтиленовые трубы. В работе рассмотрено влияние температур монтажа от -5 до +50 °C на прочностные свойства газопровода материала из полиэтилена низкого давления и высокой плотности ПЭ-100. Замена труб из стали трубами из ПНД высокой плотности является экономически эффективным решением. Полиэтиленовые трубы можно установить с гораздо меньшими трудозатратами, чем трубы из стали, а трубы из ПНД высокой плотности обладают гораздо большей устойчивостью к коррозии. В этой статье исследуется реакция на взрыв трубопровода из полиэтилена. В этом исследовании использовалась методология для определения напряжения газопровода при взрывном воздействии. Целью данного исследования является оценка влияния диаметра трубы, внутреннего давления в трубе и количества взрывчатого вещества на динамическую реакцию магистрального газопровода.

Ключевые слова: Полиэтиленовый газопровод, сейсмовзрывная волна, подземный газопровод, напряжения, температурный перепад, запас прочности, допустимая скорость колебаний, буровзрывные работы.

## ASSESSMENT OF THE STABILITY OF AN UNDERGROUND POLYETHYLENE MAIN GAS PIPELINE UNDER SEISMIC AND EXPLOSIVE EFFECTS

<sup>1</sup>Afanasyev P.I., <sup>2</sup>Tregub N.A.

ST. PETERSBURG MINING UNIVERSITY OF EMPRESS CATHERINE II, St. Petersburg, Russia (199106, St. Petersburg, 21st line of Vasilievsky Island, 2-4/45), e-mail: <sup>1</sup>Afanasev\_Pi@pers.spmi.ru, <sup>2</sup>nn.tgb@mail.ru

The use of polyethylene (PE) pipelines has become increasingly common in recent years, and only a few studies have been devoted to their seismic stability under the influence of seismic and explosive waves. To establish their seismic resistance, it is necessary to carefully study the dynamic reaction of underground pipelines exposed to explosive waves. In this study, the dynamic reaction from seismic and explosive effects on polyethylene pipes was considered. The paper considers the effect of installation temperatures from -5 to +50 °C on the strength properties of a gas pipeline made of low-pressure polyethylene and high-density PE-100. Replacing steel pipes with high density HDPE pipes is a cost-effective solution. Polyethylene pipes can be installed with much less labor than steel pipes, and high-density HDPE pipes have much greater resistance to corrosion. This article examines the reaction to the explosion of a polyethylene pipeline. In this study, a methodology was used to determine the voltage of a gas pipeline during an explosive impact. The purpose of this study is to assess the effect of pipe diameter, internal pressure in the pipe and the amount of explosive on the dynamic reaction of the main gas pipeline.

Keywords: Polyethylene gas pipeline, seismic explosion wave, underground gas pipeline, stresses, temperature drop, safety margin, permissible oscillation rate, drilling and blasting operations.

## **Введение**

Сегодня полимерные материалы широко используются в строительной сфере и особенно в трубопроводной отрасли [1]. Полиэтилен представляет собой термопластичный полимер, состоящий из длинных цепей мономера этилена. Полиэтиленовые трубы действительно находят все большее применение в различных отраслях промышленности и строительства. Они обладают рядом преимуществ по сравнению со стальными трубами. Полиэтиленовые трубы действительно предоставляют широкий спектр преимуществ по сравнению с традиционными стальными трубами. Они идеально подходят для различных применений, включая водоснабжение, канализацию, газораспределение и многое другое [2]. Важно отметить, что использование полиэтиленовых труб может снизить затраты на транспортировку и монтаж, поскольку их можно легко свернуть в рулоны. Кроме того, их легкий вес облегчает установку и уменьшает трудозатраты. Гибкость полиэтиленовых труб позволяет им выдерживать различные нагрузки и деформации, что делает их более устойчивыми к повреждениям при землетрясениях или других природных явлениях. Высокая пластичность материала обеспечивает долговечность и надежность систем, в которых они используются. Сварка полиэтиленовых труб также проста и быстра, что упрощает монтаж и уменьшает время выполнения работ. Кроме того, полиэтилен устойчив к коррозии и истиранию, что увеличивает срок службы труб и снижает затраты на техническое обслуживание. В целом, использование полиэтиленовых труб в различных отраслях является экономически эффективным и технологически прогрессивным решением, которое обеспечивает надежность и долговечность систем, в которых они используются.

За последние 60 лет в технологии производства полиэтилена произошло несколько достижений. (т.к. промышленная технология получения полиэтилена возникла в период где-то в 60-70 годах). Это привело к появлению различных продуктов, включая материалы ПЭ80, ПЭ80Б и ПЭ100, которые в настоящее время используются во всем мире. В частности, материал трубы ПЭ80Б признан обеспечивающий превосходные долгосрочные характеристики в качестве напорных труб. Материалы ПЭ80Б [3] средней плотности и ПЭ100 высокой плотности находят огромное применение благодаря своей гибкости и простоте намотки.

Механические свойства, включая предел текучести, модуль упругости, плотность, температуру плавления, степень кристалличности, износа сравниваются между марками полиэтиленовыми (ПЭ) трубами [4, 5]. Несмотря на популярность в отрасли газопроводов, известно, что ПЭ80 и ПЭ100 различаются по механическим характеристикам. В статье [6] сравнивается влияние условий нагрузки на механическое поведение материалов труб ПЭ80 и ПЭ100. Результаты показывают, что модуль упругости, предел текучести, модуль деформационного упрочнения, вязкое напряжение и квазистатическое напряжение для ПЭ100 выше, чем для ПЭ80, но ПЭ80 демонстрирует более высокую устойчивость к релаксации напряжений. Результаты также показывают, что с увеличением уровня предварительной деформации модуль упругости падает, но модуль деформационного упрочнения остается относительно постоянным.

Воздействие сейсмозрывной волны на подземные трубопроводы привлекло внимание ученых отечественных и зарубежных [7–8]. В статье [7] исследуется реакция на взрыв полимерного трубопровода, армированного стекловолокном, с использованием анализа методом конечных элементов. В этом исследовании использовалась методология

взаимодействия жидкости с конструкцией для определения деформации и повреждения трубопровода при взрывном воздействии с использованием LS-DYNA. Целью данного исследования является оценка влияния расстояния между действующим газопроводом и взрывчатым веществом, диаметра трубы, внутреннего давления в трубе и количества взрывчатого вещества на динамическую реакцию композитной трубы. Моделирование проводилось не только в случае пустой трубы, но и в случае заполненной водой трубы с различным внутренним давлением. Анализ проводился в два этапа; этап задания граничных условий, когда к трубопроводу применяют нормативные нагрузки, и этап сейсмозрывного воздействия. Сравнивая результаты анализа, было доказано, что внутреннее давление существенно влияет на деформацию трубы. Цзян [9] исследовал механическое поведение трубопроводов из ПВХ в различных условиях при взрывной нагрузке. В ходе полевых испытаний установлено, что, когда труба из ПВХ подвергается сейсмозрывному воздействию, кольцевая деформация при сжатии является самой большой, и труба более склонна к разрушению при сжатии в кольцевом направлении. Абдун [10] также исследовал характеристики труб из полиэтилена. В данном исследовании представлены результаты пяти пар центрифужных испытаний, предназначенных для исследования влияния различных факторов на поведение подземных трубопроводов из полиэтилена, подвергшихся сдвиговым нарушениям. Рассматриваемые параметры включают влажность почвы, скорость смещения разломов, относительную глубину залегания и диаметр трубы. Результаты испытаний на центрифуге показывают, что на поведение трубы, в частности на деформацию трубы, номинально не влияют влажность почвы и скорость смещения разломов, когда труба подвергается сдвиговым нарушениям. С другой стороны, соотношение глубины залегания и диаметра трубы влияют на максимальную деформацию трубы, а в некоторых случаях – на характер разрушения грунта. Тан [11] разработал численную модель для исследования динамической реакции полиэтиленовых труб при различных нагрузках.

Мониторинг подземных трубопроводов в ходе строительства затруднен, многие ученые используют численное моделирование и лабораторные испытания для анализа динамических характеристик трубопроводов [12–14]. Что касается численного моделирования, Гуан [15] использовал LS-DYNA для анализа механических характеристик подковообразных трубопроводов в процессе ведения взрывных и земляных работ в туннелях с целью обеспечения сохранности трубопроводов. На основе этого численного моделирования удалось достоверно изучить динамическую реакцию трубопроводов при взрывном воздействии. Сейсмозрывная волна сначала достигла дна трубопровода прямо над взрываемым блоком. В дальнейшем сейсмозрывные волны распространялись вдоль поперечной и продольной осей трубопровода, и напряжение на трубопровод постепенно увеличивалось. Когда сейсмозрывные колебания затухают в окружающей среде, то трубопровод перестает воспринимать данное воздействие. Максимальное значение растягивающих напряжений при прохождении волны реализуются в отдельном элементе сечения трубопровода.

Цзян [16–17] использовал программное обеспечение для полевого мониторинга и конечных элементов LS-DYNA для изучения динамической реакции газопроводов при взрывных работах подземных тоннелей и при копке котлованов. Ву [18] использовал LS-DYNA для анализа состояния безопасности трубопровода в различных условиях (внутреннее давление трубопровода, количество взрывчатого вещества, диаметр трубы и т. д.) под действием взрывной нагрузки. С увеличением внутреннего давления трубопровода

постепенно уменьшался коэффициент противозрывной безопасности трубопровода (AESFP), который определялся как отношение допустимого напряжения трубопровода к максимальному значению напряжения трубопровода. Уменьшение внутреннего давления трубопровода может улучшить противозрывные характеристики подземного трубопровода под взрывной нагрузкой на поверхности земли. При этом, чем больше был внутренний диаметр, тем легче было повредить трубопровод одним и тем же зарядом наземного взрыва. Поэтому для защиты трубопровода от повреждений при массе заряда взрывчатого вещества на поверхности земли 10 кг внутренний диаметр трубопровода должен быть менее 1 м, а внутреннее давление трубопровода не должно быть более 2 МПа. Когда внутренний диаметр превышал 1 м, а давление было больше или равно 4 МПа, то следует уделять внимание за количеством взрывчатого вещества, взрываемого на поверхности. С увеличением глубины заглубления трубопровода AESFP постепенно увеличивается, а увеличение глубины заглубления трубопровода может улучшить противозрывные характеристики заглубленного стального трубопровода. Однако, когда заряд взрывчатого вещества на земле был небольшим, влияние глубины заглубления трубопровода на AESFP было очевидным, а вклад глубины заглубления трубопровода в AESFP был больше. Кроме того, при увеличении заряда наземных взрывчатых веществ медленно снижались противозрывные характеристики стального трубопровода. Ву [19] использовал программное обеспечение ABAQUS для моделирования характеристик напряжения и деформации трубопроводов из ПВП при выкапывании гидравлическими экскаваторами, влияния различных факторов, таких как диаметр трубы, толщина трубы, внутреннее давление, размер зубьев. Результаты показывают, что увеличение внутреннего давления может повысить способность труб противостоять нагрузкам при земляных работах. Толщина трубы оказала значительное влияние на критическое сопротивление, увеличение толщины трубы может значительно улучшить способность трубопровода противостоять деформациям. Что касается лабораторных испытаний, Ван [20] провел испытание лабораторной модели для исследования характеристик реакции горных пород и трубопроводов во время взрывных работ в туннелях метро. Чтобы лучше моделировать и отслеживать фактическое механическое поведение и динамические характеристики трубопровода, многие ученые выбирают для изучения полевые испытания. Чжун [21] проанализировал закон реакции полиэтиленовой трубы при взрывной вибрационной нагрузке посредством полевых испытаний. Результаты показали, что большая окружная деформация полиэтиленовых труб возникла из-за локального воздействия вблизи источника взрывчатого вещества. Обнаружено, что пиковая кольцевая деформация (PHS) или пиковая осевая деформация (PAS) имеют зависимость затухания мощности от масштабированного расстояния, и эту зависимость также можно получить с помощью анализа размеров. Тан [22] проанализировал закон распределения виброскорости и деформации подземных трубопроводов под взрывной нагрузкой посредством натурных испытаний. При оценке безопасности трубопроводов, основанной на различных типах трубопроводов, исследователи применяют разные методы оценки для оценки характеристик безопасности трубопроводов. Ши [23] определил порог виброскорости трубопровода при взрывной нагрузке на основе критерия текучести трубопровода фон Мизеса. Франчини [24] исследовал вибрационные характеристики трубопроводов и поверхности земли путем численного расчета взрывных работ и предложил соответствующий критерий безопасности. Гуидара [25] проанализировал характеристики безопасности дефектных трубопроводов из ПВД при

Афанасьев П.И., Трегуб Н.А. Оценка устойчивости подземного магистрального газопровода из полиэтилена при сейсмозрывном воздействии // Международный журнал информационных технологий и энергоэффективности. – 2024. – Т. 9 № 7(45) с. 220-235

---

внешних нагрузках посредством взрывных испытаний и численного моделирования на основе J-интегрального критерия.

Насколько известно авторам, все предыдущие исследования, в которых использовались методы оценки сейсмозрывного воздействия для изучения взаимодействия грунта и подземных полиэтиленовых труб, не фокусировались на влиянии изменения величины температурного перепада на распределение напряжений в поведении газопровода.

Конструкция подземных газопроводов основана на принципе взаимодействия грунта и трубопровода. Таким образом, трубопровод и окружающий его грунт совместно контролируют эксплуатационные характеристики газопровода.

В исследовании, чтобы учесть взаимодействие и определить влияние термических и механических нагрузок на результирующие напряжения, учитываются следующие нагрузки: продольные напряжения от внутреннего рабочего давления, напряжения, возникающие от термических факторов, напряжения, вызванных искривлением газопровода, а также пучением грунта. Помимо нагрузок, описанных выше, внутреннее давление газа приводит к возникновению значительных напряжений в материале стенки трубопровода. В исследовании рабочее внутреннее давление принято равным 3,90 МПа.

Полиэтилен является эталонным материалом, используемым при транспортировке газа под давлением. Преимуществом трубы является то, что она имеет гладкие стенки и небольшой SDR (стандартное размерное отношение).

MRS (Minimum Required Strength) – это параметр, используемый для определения минимальной длительной прочности полиэтилена, применяемый для изготовления труб, который в трубе может оказывать с высокой степенью уверенности в том, что разрушение трубы не произойдет. Факторы сохранности предполагают, что рабочее давление в трубе будет ниже этого верхнего предела.

Таким образом, целью исследования является изучение влияния различных факторов на механическое напряжение в стенке магистрального газопровода, что является важным аспектом для обеспечения безопасной и надежной работы системы транспортировки газа. Изменение напряженного состояния газопровода возникает под действием таких факторов, как давление транспортируемого газа, изгибы, вызванные изменением положения газопровода, различная температура монтажа и эксплуатации газопровода, а также воздействие сейсмозрывных волн.

В настоящей работе проводится исследование по оценке динамических характеристик и скорости колебания частиц грунта, вызванные взрывной волной, которые не должны приводить к разрушению подземного газопровода.

## **Методы**

Объектом расчетов являлся магистральный газопровод из материала ПЭ100, который используется для транспортировки нефти и газа, как показано на Рисунке 1. Допустимые напряжения является важным предметом исследования при сейсмозрывном расчете ПЭ газопровода. Исходные данные для расчетов приведены в Таблице 1.

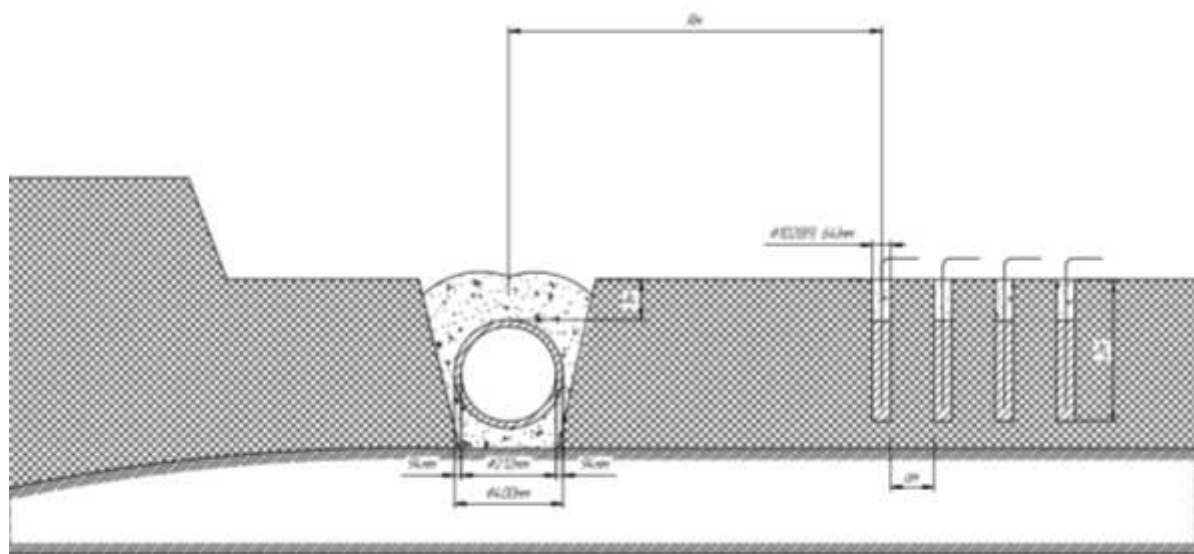


Рисунок 1 – Схемы укладки магистрального газопровода и расположения скважин относительно трубы [составлено автором]

Расчеты на прочность полиэтиленового газопровода проводились согласно требованиям СП 42-103-2003 [26] и СНиП 42-01-2002 [27], устанавливающих обязательные требования к данному виду изделий. MRS является ключевым параметром, определяющим прочность полиэтиленовых труб. Марки полиэтилена, используемые для изготовления труб, обозначаются как ПЭ80 и ПЭ100, где цифры указывают на минимальную длительную прочность в мегапаскалях (МПа). Чем MRS больше, тем больше прочность труб. СП 42-103-2003 кроме MRS вводит понятие коэффициента запаса прочности «С», который выбирается при проектировании газопроводов от условий эксплуатации СНиП 42-01-2002 [27].

Таблица 1 – Параметры материала полиэтиленового газопровода ПЭ100 [составлено автором]

Наружный диаметр трубы, Dн, мм	Внутренний диаметр трубы Dвн, мм	Толщина стенки трубы d, мм	Модуль Юнга E, МПа	Коэффициент Пуассона $\mu$ ,	Минимально необходимая прочность MRS, МПа	Давление p, МПа
400	212	94	50	0,43	10	3,90

СП 42-103-2003 – это методика, содержащая требования к проектированию, строительству и эксплуатации газопроводов из полиэтиленовых труб. В рамках этого документа проводится оценка механического напряженного состояния газопроводов, учитывая различные факторы, влияющие на их прочность и долговечность [26].

На первоначальном этапе производится расчет номинального наружного диаметра трубопровода к номинальной толщине стенки трубопровода для определения стандартного размерного отношения (SDR) по СП 42-103-2003 [26], при этом требуется учесть давление транспортируемого газа, а также марку используемого полиэтилена и коэффициент запаса прочности.

Стандартное размерное отношение (SDR) трубопровода определяют по формуле:

$$SDR = \frac{2 \cdot MRS}{MOP \cdot C} + 1, \quad (1)$$

где  $MRS$  – показатель минимальной длительной прочности полиэтилена, использованного для изготовления труб и соединительных деталей, МПа (для ПЭ 80 и ПЭ 100 этот показатель равен 8,0 и 10,0 МПа соответственно);  $MOP$  – рабочее давление газа, МПа;  $C$  – коэффициент запаса прочности, выбираемый в зависимости от условий работы газопровода.

Напряжения в стенке трубопровода определяют по формуле:

$$\sigma = \frac{p(SDR - 1)}{2}, \quad (2)$$

где  $p$  – рабочее (нормативное) давление, МПа.

Необходимо выполнить ряд прочностных критериев для обеспечения прочности газопровода из полиэтилена [26]:

- при действии всех нагрузок силового нагружения:

$$\sigma_{npF} \leq 0,4MRS; \quad (3)$$

- при совместном действии всех нагрузок силового и деформационного нагружений:

$$\sigma_{npNS} \leq 0,5MRS; \quad (4)$$

$$\sigma_{npS} \leq 0,9MRS; \quad (5)$$

Значения  $\sigma_{npF}$ ,  $\sigma_{npNS}$ ,  $\sigma_{npS}$  определяются по формулам (6 – 8):

$$\sigma_{npF} = \frac{2\mu p}{\left[1 - \frac{2}{SDR}\right]^{-2} - 1}, \quad (6)$$

где  $\mu$  – коэффициент Пуассона.

$$\sigma_{npNS} = \left| \frac{2\mu p}{\left[1 - \frac{2}{SDR}\right]^{-2} - 1} - \alpha E(t_e) \Delta t \right| + \sigma_c, \quad (7)$$

где  $\alpha$  – коэффициент линейного расширения материала трубы, град<sup>-1</sup>;  $E$  – переменный параметр упругости (модуль Юнга), МПа;  $\Delta t$  – расчетный температурный перепад, °C;  $\sigma_c$  – дополнительные напряжения в газопроводе, обусловленные прокладкой его в сейсмических районах, МПа.

$$\sigma_{npS} = \left| \frac{2\mu p}{\left[1 - \frac{2}{SDR}\right]^{-2} - 1} - \alpha E(t_e) \Delta t \right| + \sigma_{oy} + \frac{E(t_e)d_e}{2\rho} + \sigma_c, \quad (8)$$

где  $d_e$  – внутренний диаметр трубы, см;  $\rho$  – минимальный радиус упругого изгиба оси трубопровода, см;  $\sigma_{oy}$  – дополнительное напряжение в газопроводе, обусловленное прокладкой его в особых условиях, МПа.

Изменения температуры могут возникать в течение дня или сезонные изменения могут происходить ежегодно. Информация о температуре грунта необходима для расчета термических напряжений, возникающих в подземном газопроводе. Для примера был взят магистральный газопровод, который эксплуатируется в следующих условиях (Таблица 2):

средняя температура летом колеблется от 30 °С утром до примерно 50 °С во второй половине дня. Аналогичным образом, в холодный зимний день колебания температуры колеблются от 0 °С утром до примерно 28 °С днем.

Таблица 2 – Расчетные значения запаса напряжений [составлено автором]

Зимний период			Летний период	
Монтажная температура, °С	σPPS, МПа (формула 11)		Монтажная температура, °С	σPPS, МПа (формула 11)
	с пучением	без пучения		
0	7,60	8,10	0	7,60
-5	7,65	8,15	5	8,04
-10	7,71	8,21	10	7,99
-15	7,76	8,26	15	7,93
-20	7,82	8,32	20	7,88
-30	7,93	8,43	30	7,77
-33	7,96	8,46	33	7,73
-40	8,04	8,54	40	7,66
-50	8,15	8,65	50	7,55

Запас напряжений газопровода определяет допустимый уровень, при котором сохраняется безопасность эксплуатации трубопровода. Для оценки величины допустимого уровня был проведен расчет в соответствии с актуальной методикой [26]:

По формулам вычислим значения запаса напряжений:

$$\sigma_{\text{запаса}} = 0,4\text{MRS} - \sigma_{\text{пF}} = 0,4\text{MRS} - \frac{2\mu p}{\left[1 - \frac{2}{\text{SDR}}\right]^{-2} - 1}, \quad (9)$$

$$\sigma_{\text{запаса}} = 0,5\text{MRS} - \sigma_{\text{пNS}} = 0,5\text{MRS} - \left| \frac{2\mu p}{\left[1 - \frac{2}{\text{SDR}}\right]^{-2} - 1} - \alpha E(t_e) \Delta t \right| + \sigma_c, \quad (10)$$

$$\sigma_{\text{запаса}} = 0,9\text{MRS} - \sigma_{\text{пNS}} = 0,9\text{MRS} - \left| \frac{2\mu p}{\left[1 - \frac{2}{\text{SDR}}\right]^{-2} - 1} - \alpha E(t_e) \Delta t \right| + \sigma_{\text{oy}} + \frac{E(t_e) d_e}{2\rho} + \sigma_c. \quad (11)$$

Взрывные работы часто производятся на территориях в где имеются скальные и мерзлые грунты. Сохранность газопроводов во многом зависит от характера и интенсивности волновых явлений при подземных взрывах, включая характеристики грунта, конструкцию трубопровода, а также от правильного определения предельно допустимых скоростей колебаний грунта [28, 29]. Некорректное определение этого параметра может привести к повреждению газопровода. Согласно [30] предельно допустимую скорость колебаний грунтов при взрывах можно определить по выражению:



$$v_{\max} = \frac{\sigma_{\text{доп.сейсм.}}}{\frac{E_0}{C_p} + \frac{2 \cdot \pi \cdot f \cdot \frac{D}{2}}{C_s^2} \cdot E_0}, \quad (12)$$

где  $\sigma_{\text{доп.сейсм.}}$  – запас напряжений, который может воспринять газопровод, МПа;  $E_0$  – модуль упругости материала (полиэтилена), МПа;  $D$  – наружный диаметр газопровода, м;  $f$  – доминирующая частота колебаний грунта у основания газопровода, Гц;  $C_p$  – скорость продольных волн в грунте, м/с;  $C_s$  – скорость поперечных волн в грунте, м/с.

Допустимые значения скоростей сейсмозрывных колебаний представлены в Таблице 3.

Таблица 3 – Расчетные значения допустимых скоростей [составлено автором]

Зимний период			Летний период	
Монтажная температура, °C	Допустимая скорость, м/с		Монтажная температура, °C	Допустимая скорость, м/с
	с пучением	без пучения		
0	23,85	25,42	0	23,85
-5	24,02	25,59	5	25,25
-10	24,20	25,77	10	25,08
-15	24,37	25,94	15	24,90
-20	24,54	26,11	20	24,73
-30	24,90	26,46	30	24,39
-33	24,99	26,56	33	24,28
-40	25,23	26,80	40	24,04
-50	25,58	27,15	50	23,69

## Результаты

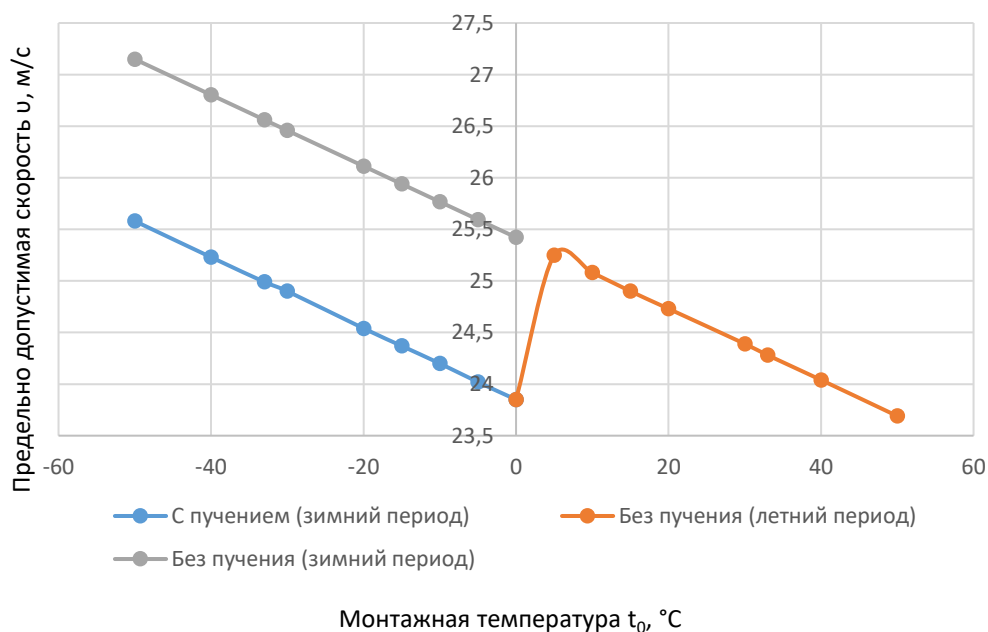


Рисунок 2 – График зависимости предельно допустимой скорости от монтажной температуры [составлено автором]

Оценка напряжений в газопроводе из полиэтиленовых труб проводилась с использованием пучения грунта. Из проведенных вычислений следует (таблица 2), что величина напряжений увеличивается незначительно при наличии фактора пучения грунта в зимний период в диапазоне от 0 до -50°C. Понижение температуры от 0 до -50°C увеличивает предельно допустимую скорость до 25,58 м/с (Рисунок 2).

Затем были рассчитаны скорости колебаний грунта, вызванных взрывом. Эти значения сравнивались с результатами определения максимально допустимых скоростей колебаний грунта.

В методиках и стандартах проектирования газопроводов взрывные нагрузки не предусмотрены или даже не упоминаются. Поэтому требуется дальнейшая разработка и анализ для прогнозирования реакции газопроводов на сейсмозрывное воздействие [31]. Для расчета сейсмозрывной волны и, следовательно, динамической нагрузки на газопровод применен подход: В.Ф. Богацкого и В.Х. Пергамента [32].

Для оценки сейсмозрывных волн использовалось эмульсионное взрывчатое вещество Нитронит ПАС-60 [33], которое было выполнено со следующими параметрами (Таблица 4).

В данной статье динамическая реакция полиэтиленового газопровода на сейсмозрывное воздействие анализировались трубопроводы разных диаметров (Таблица 4). Расчет производился для групп зарядов, состоящих из 3-х и 4-х скважин (Таблица 4).

Таблица 4 – Общая масса ВВ [составлено автором]

Взрыв	Диаметр скважины, мм	Масса 1-ого заряда, кг	Масса заряда для 4-х скважин в 1-ом ряду, кг	Масса заряда для 3-х скважин в 1-ом ряду, кг
1	102	10,6	42,5	31,9
2	89	8,1	32,3	24,3
3	64	4,2	16,7	12,5

Скорость сейсмозрывных волн, создаваемых взрывным воздействием в зависимости от массы взрывчатого вещества за ступень и свойств горной породы на пути распространения и вместе расположения трубы [32, 34].

Формула, используемая для определения скорости колебания грунта  $u$ , представлена следующим образом:

$$u = \sqrt[3]{\frac{C_p}{\gamma} \left( 1 - \frac{4}{3} \frac{C_s^2}{C_p^2} \right)^2} \cdot \sqrt{\frac{\gamma C_p}{(\gamma C_p)_H}} \cdot R_3^{-2,21 \cdot R^{-0,05}}, \quad (13)$$

Таблица 5 – Расчетные значения параметров сейсмозрывной волны [составлено автором]

Параметры	Для 4-х скважин			Для 3-х скважин		
Диаметр скважины, мм	102	89	64	102	89	64
Масса заряда Q, кг	42,5	32,3	16,7	31,9	24,3	12,5
Длина зарядной камеры $l_{з.к.}$ , м	2	2	2	2	2	2
Общая длина заряда $l_{з.}$ , м	1,13	0,86	0,44	1,13	0,86	0,44
Отношение длины зарядной камеры к общей длине заряда $K_B$ , м	1,77	2,33	4,50	1,77	2,33	4,50
Приведенное расстояние при взрыве R, м	5,159	5,650	7,039	5,678	6,218	7,747
Эквивалентное приведенное расстояние $R_{э.пр.}$ , м	4,175	5,966	15,645	4,408	6,224	16,015
Скорость (фактическая) $u$ , м/с	1,060	0,550	0,102	0,968	0,509	0,098

Расчетные значения скоростей колебаний представлены в таблице 5. По причине того, что мы имеем высокие пластические свойства полиэтилена, которые приводят к высокому значению предельно допустимой скорости. В результате можно проводить взрывные работы любым из предложенных способов.

### Выводы

1. Были произведены расчеты по оценке фактических напряжений на магистральный газопровод ПЭ-100.
2. Произведен расчет по оценке запаса напряжений для сейсмозрывного воздействия с учетом различных температур монтажа полиэтиленового газопровода.
3. Получены предельно допустимые скорости колебания в зимний и летний период с учетом и без учета пучения для полиэтиленового газопровода.
4. Поскольку полиэтиленовые газопроводы имеют высокие пластические свойства, для расчетных параметров буровзрывных работ не оказывают значительного влияния на сохранность газопровода.

### Вклад

Афанасьев П.И. – общее руководство работой, анализ полученных результатов

Трегуб Н.А. – анализ литературы, произведены расчеты, проведено сравнение допустимой скорости колебаний с фактическими скоростями колебания грунта.

### Список литературы

1. Литвиненко В.С., Вяхирев Ю.Р. Мероприятия, обеспечивающие экономически оптимальные условия строительства магистрального газопровода в рамках проекта «Голубой поток» // Записки Горного института. 1999. Т. 144. С. 10-14.
2. Киселев Д.А., Семикова Е.Н. Перспективы применения полиэтиленовых труб в сравнении с металлическими в системах газоснабжения / Межвузовский сборник статей лауреатов конкурсов. 2010. С. 159-161.

3. Петухова Е.С., Саввинова М.Е. Разработка методов упрочнения полиэтилена марки ПЭ80Б / АРКТИКА. XXI век. Технические науки. 2013. № 1. С. 41-47.
4. Петухова Е.С., Саввинова М.Е. Свойства ПЭ100 разных марок. / Центр научного знания "Логос", № 2014, 2014. С. 414 – 419.
5. Горская Ю.П., Васильева А.С., Колбая В.Г., Коврига В.В. Исследование потери кристалличности в зоне пластического разрушения различных видов полиэтилена / Пластические массы. 2018. № 3-4. С. 9-10. DOI: 10.35164/0554-2901-2018-3-4-9-10.
6. Yi Zhang, P.-Y. Ben Jar. Comparison of Mechanical Properties Between PE80 and PE100 Pipe Materials / Journal of Materials Engineering and Performance, 25 (10), 2016. P. 4326-4332. DOI: 10.1007/s11665-016-2274-2.
7. E. Giannaros, T. Kotzakolios, V. Kostopoulos. Blast response of composite pipeline structure using finite element techniques / Journal of Composite Materials, 50 (25), 2015. P. 3459-3476. DOI: 10.1177/0021998315618768.
8. J.H. Won, M.K. Kim, G. Kim, S. H. Cho. Blast-induced dynamic response on the interface of a multilayered pipeline / Structure and Infrastructure Engineering, 10 (1), 2014. P. 80-92. DOI: 10.1080/15732479.2012.699532.
9. N. Jiang, Y. Zhang, T. Wu, Y. Yao, X. Luo. Determination of Blasting Vibration Safety Criterion for HDPE Pipeline Using Vibration and Strain Data in a Coastal Metro Line / Sensors, 21 (21), 2021. 7252. DOI: 10.3390/s21217252.
10. T.H. Abdoun, D. Ha, J. Michael, O'Rourke, M.D. Symans, T.D. O'Rourke, M.C. Palmer, H.E. Stewart. Factors influencing the behavior of buried pipelines subjected to earthquake faulting / Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 29 (3), 2009. P. 415-427. DOI: 10.1016/j.soildyn.2008.04.006.
11. L. Tang, W. He, H. Zhu, Y. Zhou. Mechanical analysis of un-bonded flexible pipe tensile armor under combined loads / International Journal of Pressure Vessels and Piping, 171, 2019. P. 217-223. DOI: 10.1016/j.ijpvp.2019.02.015.
12. N. Jiang, B. Zhu, C. Zhou, H. Li, B. Wu, Y. Yao, T. Wu. Blasting vibration effect on the buried pipeline: A brief overview / Engineering Failure Analysis, 129, 2021. 105709. DOI: 10.1016/j.engfailanal.2021.105709.
13. M. Parviz, B. Aminnejad, A. Fiouz, Numerical simulation of dynamic response of water in buried pipeline under explosion / KSCE Journal of Civil Engineering, 21 (7), 2017. P. 1-9. DOI: 10.1007/s12205-017-0889-y.
14. F. Jiang, S. Dong, Y. Zhao, Z. Xie, C.G. Soares. Investigation on the deformation response of submarine pipelines subjected to impact loads by dropped objects / Ocean Engineering, 194, 2019. 106638. DOI: 10.1016/j.oceaneng.2019.106638.
15. X. Guan, X. Wang, Z. Zhu, L. Zhang, H. Fu. Ground vibration test and dynamic response of horseshoe-shaped pipeline during tunnel blasting excavation in pebbly sandy soil / Geotechnical and Geological Engineering, 38, 2020. P. 3725-3736. DOI: 10.1007/s10706-020-01249-x.
16. N. Jiang, T. Gao, C. Zhou, X. Luo. Effect of excavation blasting vibration on adjacent buried gas pipeline in a metro tunnel / Tunnelling and Underground Space Technology, 81, 2018. P. 590-601. DOI: 10.1016/j.tust.2018.08.022.

17. N. Jiang, B. Zhu, X. He, C. Zhou, X. Luo, T. Wu. Safety assessment of buried pressurized gas pipelines subject to blasting vibrations induced by metro foundation pit excavation / *Tunnelling and Underground Space Technology*, 102, 2020. 103448. DOI: 10.1016/j.tust.2020.103448.
18. T. Wu, N. Jiang, C. Zhou, X. Luo, J. Sun. Evaluate of anti-explosion for high-pressure gas steel pipeline subjected to ground explosion / *Journal of Constructional Steel Research*, 177, 2020. 106429. DOI: 10.1016/j.jcsr.2020.106429.
19. K. Wu, H. Zhang, X. Liu, D. Bolati, G. Liu, P. Chen, Y. Zhao. Stress and strain analysis of buried PE pipelines subjected to mechanical excavation / *Engineering Failure Analysis*, 106 (11), 2019. DOI: 10.1016/j.engfailanal.2019.104171.
20. H. Wang, Y. Wu, H. Jin, J. Jia, K. Wang. Field measurement and numerical simulation of the influence of blasting excavation on adjacent buried pipelines / *International Journal of Critical Infrastructures*, 15 (1), 2019. P. 70-89. DOI: 10.1504/IJCIS.2019.096572.
21. D. Zhong, X. Gong, F. Han, L. Li. Monitoring the Dynamic Response of a Buried Polyethylene Pipe to a Blast Wave: An Experimental Study / *Applied Sciences*, 9 (8), 2019. 1663. DOI: 10.3390/app9081663.
22. Q. Tang, N. Jiang, Y. Yao, C. Zhou, T. Wu. Experimental investigation on response characteristics of buried pipelines under surface explosion load / *International Journal of Pressure Vessels and Piping*, 183, 2020. 104101. DOI: 10.1016/j.ijpvp.2020.104101.
23. C. Shi, Q. Zhao, M. Lei, M. Peng. Vibration acceleration control standard of buried pipeline under blast loading of adjacent tunnel / *Soils and Foundations*, 59, 2019. P. 2195-2205. DOI: 10.1016/j.sandf.2019.12.003.
24. R. Francini, W. Baltz, Blasting and construction vibrations near existing pipelines: what are the appropriate levels? / *Journal of Pipeline Engineering*, 2, 2008. P. 519-531. DOI: 10.1115/IPC2008-64325.
25. M.A. Guidara, M.A. Bouaziz, C. Schmitt, J. Capelle, E. Haj Tai Eb, Z. Azari, S. Hariri. Structural integrity assessment of defected high density poly-ethylene pipe: burst test and finite element analysis based on J-integral criterion / *Engineering Failure Analysis*, 57, 2015. P. 282-295. DOI: 10.1016/j.engfailanal.2015.07.042.
26. СП 42-103-2003. Свод правил. Проектирование и строительство газопроводов из полиэтиленовых труб и реконструкция изношенных газопроводов. введен 27.11.2003. – Москва: МКС, 2003. – 163 с.
27. СНиП 42-01-2002. Газораспределительные системы. СНиП 2.05.06-85\*: введен 20.05.2011. – Москва: Минрегион, 2010. – 70 с.
28. Хохлов С.В. Особенности сейсмического мониторинга при ведении взрывных работ вблизи действующего газопровода / С.В. Хохлов, Ю.И. Виноградов, С.Т. Соколов // *Известия Тульского государственного университета*. 2019(1), стр. 296-305.
29. Хохлов С.В. Проведение промышленных взрывов вблизи газопровода / С.В. Хохлов, С.Т. Соколов, Ю.И. Виноградов, И.Б. Френкель // *Записки горного института Записки Горного Института*. Том 247. С. 48-56. DOI: 10.31897/PMI.2021.1.6.
30. Dowding Ch. H. *Construction Vibrations*. - 2000, 610p.
31. Господариков А.П., Выходцев Я.Н., Зацепин М.А. Математическое моделирование воздействия сейсмозрывных волн на горный массив, включающий выработку / *Записки горного института*. Том 226. С 405 – 411. DOI: 10.25515/PMI.2017.4.405.

32. Богацкий В.Ф., Пергамент В.Х. Сейсмическая безопасность при взрывных работах., М., «Недра», 1978. 128 с.
33. Колганов Е.В., Соснин В.А. Безопасность эмульсионных промышленных взрывчатых веществ / Записки горного института. Том 171, 2007. С 203 – 212.
34. Артемов В.А., Виноградов Ю.И., Густов С.В. Исследование сейсмобезопасных условий производства буровзрывных работ вблизи действующего газопровода / Взрывное дело, № 103-60, 2010. С 256 – 267.

## References

1. Litvinenko V.S., Vyakhirev Yu.P. Measures ensuring economically optimal conditions for the construction of the main gas pipeline within the framework of the Blue Stream project // Notes of the Mining Institute. 1999. Vol. 144. pp. 10-14.
2. Kiselev D.A., Semikova E.N. Prospects for the use of polyethylene pipes in comparison with metal pipes in gas supply systems / Interuniversity collection of articles by laureates of competitions. 2010. pp. 159-161.
3. Petukhova E.S., Savvinova M.E. Development of methods for hardening polyethylene grade PE80B / ARCTIC. XXI century. Technical sciences. 2013. No. 1. pp. 41-47.
4. Petukhova E.S., Savvinova M.E. Properties of PE100 of different brands. / Logos Scientific Knowledge Center, No. 2014, 2014. pp. 414-419.
5. Gorskaya Yu.P., Vasilyeva A.S., Kolbaya V.G., Kovriga V.V. Investigation of crystallinity loss in the zone of plastic destruction of various types of polyethylene / Plastic masses. 2018. No. 3-4. pp. 9-10. DOI: 10.35164/0554-2901-2018-3-4-9-10.
6. Yi Zhang, P.-Y. Ben Jar. Comparison of Mechanical Properties Between PE80 and PE100 Pipe Materials / Journal of Materials Engineering and Performance, 25 (10), 2016. pp. 4326-4332. DOI: 10.1007/s11665-016-2274-2.
7. E. Giannaros, T. Kotzakolios, V. Kostopoulos. Blast response of composite pipeline structure using finite element techniques / Journal of Composite Materials, 50 (25), 2015. pp. 3459-3476. DOI: 10.1177/0021998315618768.
8. J.H. Won, M.K. Kim, G. Kim, S. H. Cho. Blast-induced dynamic response on the interface of a multilayered pipeline / Structure and Infrastructure Engineering, 10 (1), 2014. pp. 80-92. DOI: 10.1080/15732479.2012.699532.
9. N. Jiang, Y. Zhang, T. Wu, Y. Yao, X. Luo. Determination of Blasting Vibration Safety Criterion for HDPE Pipeline Using Vibration and Strain Data in a Coastal Metro Line / Sensors, 21 (21), 2021. 7252. DOI: 10.3390/s21217252.
10. T.H. Abdoun, D. Ha, J. Michael, O'Rourke, M.D. Symans, T.D. O'Rourke, M.C. Palmer, H.E. Stewart. Factors influencing the behavior of buried pipelines subjected to earthquake faulting / Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 29 (3), 2009. pp. 415-427. DOI: 10.1016/j.soildyn.2008.04.006.
11. L. Tang, W. He, H. Zhu, Y. Zhou. Mechanical analysis of un-bonded flexible pipe tensile armor under combined loads / International Journal of Pressure Vessels and Piping, 171, 2019. pp. 217-223. DOI: 10.1016/j.ijpvp.2019.02.015.
12. N. Jiang, B. Zhu, C. Zhou, H. Li, B. Wu, Y. Yao, T. Wu. Blasting vibration effect on the buried pipeline: A brief overview / Engineering Failure Analysis, 129, 2021. 105709. DOI: 10.1016/j.engfailanal.2021.105709.

13. M. Parviz, B. Aminnejad, A. Fiouz, Numerical simulation of dynamic response of water in buried pipeline under explosion / *KSCE Journal of Civil Engineering*, 21 (7), 2017. pp. 1-9. DOI: 10.1007/s12205-017-0889-y.
14. F. Jiang, S. Dong, Y. Zhao, Z. Xie, C.G. Soares. Investigation on the deformation response of submarine pipelines subjected to impact loads by dropped objects / *Ocean Engineering*, 194, 2019. 106638. DOI: 10.1016/j.oceaneng.2019.106638.
15. X. Guan, X. Wang, Z. Zhu, L. Zhang, H. Fu. Ground vibration test and dynamic response of horseshoe-shaped pipeline during tunnel blasting excavation in pebbly sandy soil / *Geotechnical and Geological Engineering*, 38, 2020. P. 3725-3736. DOI: 10.1007/s10706-020-01249-x.
16. N. Jiang, T. Gao, C. Zhou, X. Luo. Effect of excavation blasting vibration on adjacent buried gas pipeline in a metro tunnel / *Tunnelling and Underground Space Technology*, 81, 2018. pp. 590-601. DOI: 10.1016/j.tust.2018.08.022.
17. N. Jiang, B. Zhu, X. He, C. Zhou, X. Luo, T. Wu. Safety assessment of buried pressurized gas pipelines subject to blasting vibrations induced by metro foundation pit excavation / *Tunnelling and Underground Space Technology*, 102, 2020. 103448. DOI: 10.1016/j.tust.2020.103448.
18. T. Wu, N. Jiang, C. Zhou, X. Luo, J. Sun. Evaluate of anti-explosion for high-pressure gas steel pipeline subjected to ground explosion / *Journal of Constructional Steel Research*, 177, 2020. 106429. DOI: 10.1016/j.jcsr.2020.106429.
19. K. Wu, H. Zhang, X. Liu, D. Bolati, G. Liu, P. Chen, Y. Zhao. Stress and strain analysis of buried PE pipelines subjected to mechanical excavation / *Engineering Failure Analysis*, 106 (11), 2019. DOI: 10.1016/j.engfailanal.2019.104171.
20. H. Wang, Y. Wu, H. Jin, J. Jia, K. Wang. Field measurement and numerical simulation of the influence of blasting excavation on adjacent buried pipelines / *International Journal of Critical Infrastructures*, 15 (1), 2019. P. 70-89. DOI: 10.1504/IJCIS.2019.096572.
21. D. Zhong, X. Gong, F. Han, L. Li. Monitoring the Dynamic Response of a Buried Polyethylene Pipe to a Blast Wave: An Experimental Study / *Applied Sciences*, 9 (8), 2019. 1663. DOI: 10.3390/app9081663.
22. Q. Tang, N. Jiang, Y. Yao, C. Zhou, T. Wu. Experimental investigation on response characteristics of buried pipelines under surface explosion load / *International Journal of Pressure Vessels and Piping*, 183, 2020. 104101. DOI: 10.1016/j.ijpvp.2020.104101.
23. C. Shi, Q. Zhao, M. Lei, M. Peng. Vibration acceleration control standard of buried pipeline under blast loading of adjacent tunnel / *Soils and Foundations*, 59, 2019. P. 2195-2205. DOI: 10.1016/j.sandf.2019.12.003.
24. R. Francini, W. Baltz, Blasting and construction vibrations near existing pipelines: what are the appropriate levels? / *Journal of Pipeline Engineering*, 2, 2008. P. 519-531. DOI: 10.1115/IPC2008-64325.
25. M.A. Guidara, M.A. Bouaziz, C. Schmitt, J. Capelle, E. Haj Tai Eb, Z. Azari, S. Hariri. Structural integrity assessment of defective high density poly-ethylene pipe: burst test and finite element analysis based on J-integral criterion / *Engineering Failure Analysis*, 57, 2015. pp. 282-295. DOI: 10.1016/j.engfailanal.2015.07.042.
26. SP 42-103-2003. A set of rules. Design and construction of gas pipelines made of polyethylene pipes and reconstruction of worn-out gas pipelines. introduced on 11/27/2003. – Moscow: ISS, 2003. – p.163

27. SNiP 42-01-2002. Gas distribution systems. SNiP 2.05.06-85\*: introduced on 05/20/2011. – Moscow: Ministry of Regional Development, 2010. – p.70
  28. Khokhlov S.V. Features of seismic monitoring during blasting operations near an existing gas pipeline / S.V. Khokhlov, Yu.I. Vinogradov, S.T. Sokolov // Izvestiya Tula State University. 2019(1), pp. 296-305.
  29. Khokhlov S.V. Conducting industrial explosions near a gas pipeline / S.V. Khokhlov, S.T. Sokolov, Yu.I. Vinogradov, I.B. Frenkel // Notes of the Mining Institute Notes of the Mining Institute. Volume 247. pp. 48-56. DOI: 10.31897/PMI.2021.1.6.
  30. Dowding Ch. H. Construction Vibrations. - 2000, p.610
  31. Gospodarikov A.P., Vykhodtsev Ya.N., Zatsepin M.A. Mathematical modeling of the impact of seismic waves on a mountain range, including mining / Notes of the Mining Institute. Volume 226. pp. 405 – 411. DOI: 10.25515/PMI.2017.4.405.
  32. Bogatsky V.F., Parchment V.H. Seismic safety during blasting., M., "Nedra", 1978. pp.128 p.
  33. Kolganov E.V., Sosnin V.A. Safety of emulsion industrial explosives / Notes of the Mining Institute. Volume 171, 2007. From 203-212.
  34. Artyomov V.A., Vinogradov Yu.I., Gustov S.V. Investigation of seismic safety conditions for drilling and blasting operations near an existing gas pipeline / Explosive business, No. 103-60, 2010. From 256 to 267.
-





Международный журнал информационных технологий и  
энергоэффективности

Сайт журнала:

<http://www.openaccessscience.ru/index.php/ijcse/>



УДК 621.65

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВИБРОПАРАМЕТРОВ СТУПЕНЕЙ ПОГРУЖНЫХ ЦЕНТРОБЕЖНЫХ ЭЛЕКТРОНАСОСОВ

<sup>1</sup>Карипова В.Н., Цечоев А.Х.

ФГБОУ ВО «ТЮМЕНСКИЙ ИНДУСТРИАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ», Тюмень, Россия  
(625000, г. Тюмень, ул. Володарского, 38), e-mail: <sup>1</sup>Vi.Karip@bk.ru

Вибрация возникает в насосах вследствие плохого качества производства и сборки узлов, неправильной эксплуатации или внешних условий. Вредное воздействие вибрации выражается в снижении надёжности и долговечности насосов, внеплановых ремонтах, создании аварийных ситуаций и нарушении технологического режима. Анализ вибрационных характеристик является важным инструментом для оценки технического состояния и обеспечения надежной работы насосных агрегатов.

Ключевые слова: Исследование, анализ, испытание, погружной центробежный насос, вибрация, испытательный стенд, виброускорение.

## INVESTIGATION OF VIBRATION PARAMETERS OF STAGES OF SUBMERSIBLE CENTRIFUGAL ELECTRIC PUMPS

<sup>1</sup>Karipova V.N., Tsechoev A.Kh.

TYUMEN INDUSTRIAL UNIVERSITY, Tyumen, Russia (625000, Tyumen, Volodarsky str., 38), e-mail: <sup>1</sup>Vi.Karip@bk.ru

Vibration occurs in pumps due to poor quality of production and assembly of components, improper operation or external conditions. The harmful effects of vibration are expressed in a decrease in the reliability and durability of pumps, unscheduled repairs, the creation of emergency situations and violation of the technological regime. Vibration analysis is an important tool for assessing the technical condition and ensuring reliable operation of pumping units.

Keywords: Research, analysis, testing, submersible centrifugal pump, vibration, test bench, vibration acceleration.

Погружные электроцентробежные насосные системы представляют собой важное оборудование для откачки пластовой жидкости из скважин. Погружные системы, в основе которых лежат электроцентробежные насосы, состоят из ряда ступеней, соединенных последовательно в одном корпусе.

Одним из ключевых факторов, влияющих на работоспособность и долговечность этих систем, является качество производства и сборки их компонентов. Когда узлы УЭЦН изготавливаются и собираются с высоким качеством, создаются надежные условия для эксплуатации оборудования. Это в свою очередь позволяет увеличить межремонтный период и снизить затраты на ремонт. Важную роль также играют технологии производства деталей и используемые материалы. Они должны быть подобраны с учетом особенностей работы насосных систем и обеспечивать высокую надежность и долговечность оборудования. При эксплуатации установок электроприводных центробежных насосов ремонты становятся

неизбежной необходимостью. Поэтому качество ремонта также играет важную роль в эффективности и надежности работы оборудования.

Одним из ключевых инструментов для оценки технического состояния и обеспечения надежной работы насосных агрегатов является анализ вибрационных характеристик.

Для проведения такого анализа используются специальные приборы виброанализаторы, которые собирают данные о вибрации в режиме реального времени. Эти данные затем обрабатываются с помощью передового программного обеспечения, которое позволяет интерпретировать информацию о вибрации и получить ценные выводы о текущем состоянии оборудования. Этот комплексный подход позволяет разработать стратегии обслуживания и предотвратить потенциальные отказы системы.

Целью обширного исследования было оценить сложную взаимосвязь между качеством производства, точностью сборки и условиями эксплуатации, влияющими на вибрационные характеристики насосных агрегатов. Это исследование было проведено на специализированном лабораторном испытательном стенде [1].

На испытательном стенде использовался замкнутый гидравлический контур с пресной водой в качестве рабочей жидкости. Такая установка позволяет проводить испытания на различных режимах работы и контролировать не только гидравлические и энергетические показатели, но и вибрацию.

Лабораторная установка, представленная на рисунке 1, состоит из ёмкости 1. Измерительный бак 3 и задвижка установлены над ёмкостью. Насос 7 связан с напорным трубопроводом 4 через гибкий шланг и дроссельное устройство, которое регулирует расход жидкости. Патрубок 14 – соединяет всасывающий трубопровод с приёмной частью насоса. Полуоси 10 крепят приёмную часть (цилиндрический корпус 8) на вертикальной стойке 11. Входной модуль 13 типа MB5A располагается внутри приемной части. Нижняя часть корпуса закреплена электродвигателем 12. В данном эксперименте использовались осевые ступени погружного центробежного электрического насоса ЭЦН5 – 80 [2]. Использование лабораторной установки позволяет проводить тестирование насосов в различных условиях эксплуатации. Это особенно важно для определения оптимальных режимов работы и повышения эффективности насосов.

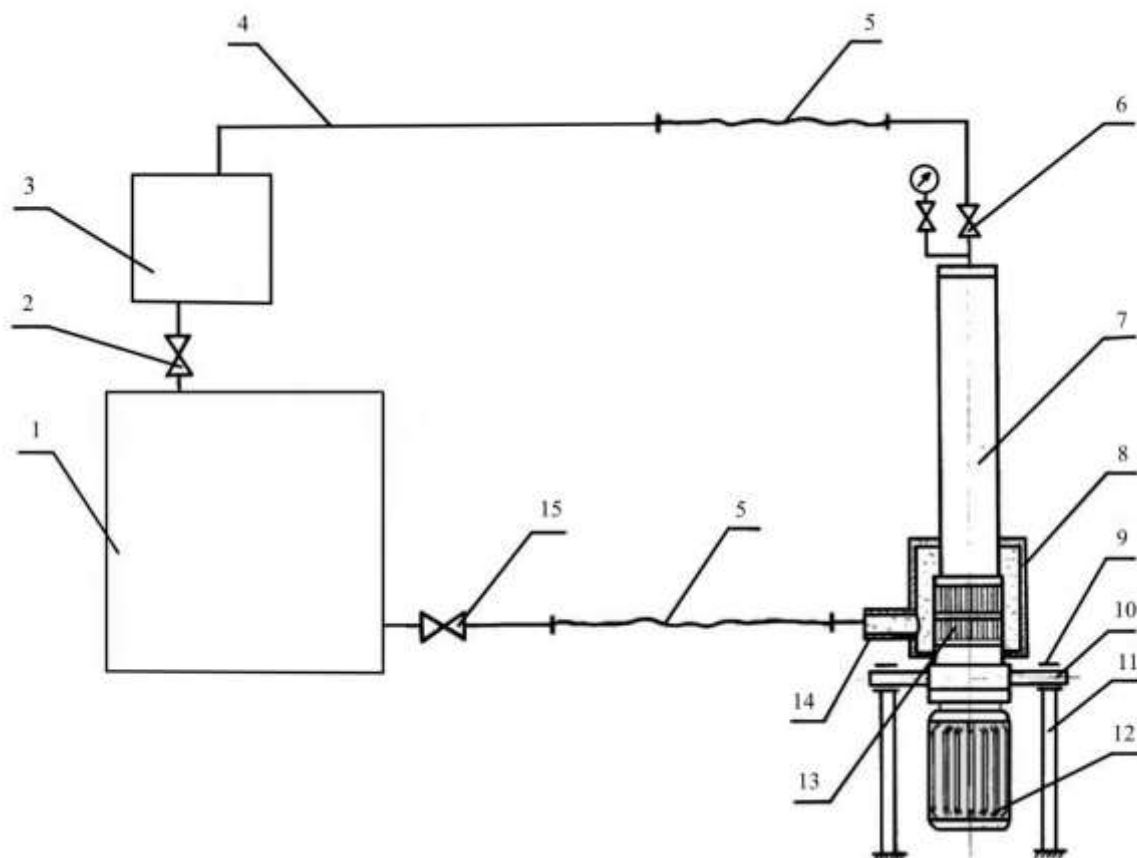


Рисунок 1 – Схема испытательного стенда

В рамках данного исследования были использованы различные измерительные приборы для измерения различных параметров насосного агрегата. Кроме измерения напряжения сети, тока и мощности электродвигателя, а также подачи насоса, частоты вращения вала насоса и температуры жидкости в системе, особое внимание уделялось измерению вибрации. Для измерения вибрации использовался специальный измерительный прибор ВШВ-003, оснащенный широкополосными вибропреобразователями типа ДН-4. Эти преобразователи обеспечивают точные показания вибрации. Результаты измерений записывались с помощью высокоскоростного автоматического записывающего аппарата модели Н338, который выводил данные на бумажную ленту.

Исследование началось с изучения влияния различных узлов на параметры вибрации при вертикальном расположении насосного агрегата и его компонентов. Главной целью было определить общий уровень и спектральный состав вибраций. Виброускорение насосного агрегата рассматривалось в качестве основного параметра измерения. Для получения точных данных о вибрации, датчики были размещены на электродвигателе в определенном порядке. Местоположения датчиков были выбраны на основе областей, где наблюдались наибольшие значения виброускорения. Во время эксперимента датчики были надежно прикреплены к объекту с помощью резьбы, что обеспечивает максимальную чувствительность на всех частотах.

Исследование насосного агрегата включало несколько этапов, чтобы более полно изучить его характеристики. Вначале были оценены вибрационные характеристики агрегата в условиях без нагрузки, а затем при работе с водой.

Испытание электродвигателя на холостом ходу и в вертикальном положении. Таким образом, данное исследование позволило получить информацию о влиянии различных узлов на вибрационные характеристики насосного агрегата. Эти испытания предоставили информацию об общем уровне вибрации (Рисунок 2), а также о приблизительном спектральном составе виброускорений в разных направлениях на стандартных частотах октавных фильтров (Рисунок 3 и 4).

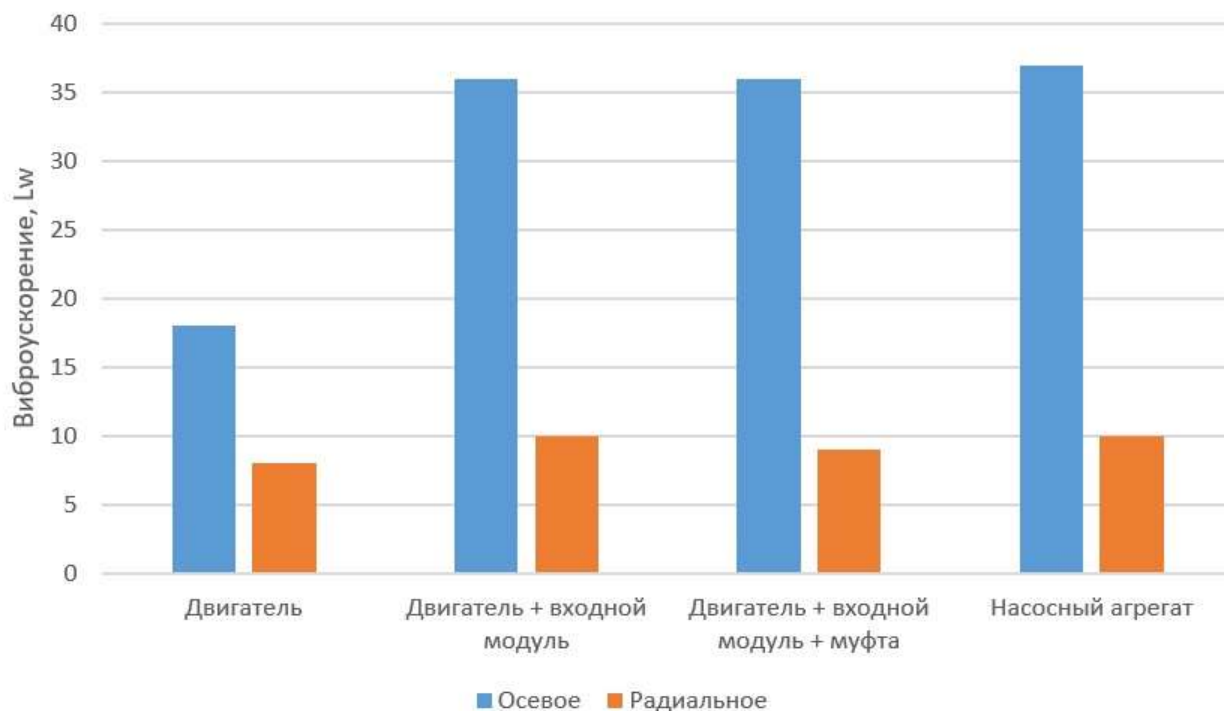


Рисунок 2 – Радиальное виброускорение насосного агрегата по общему уровню

Для оценки работы насосного агрегата в различных условиях проведены испытания электродвигателя в совместной работе с входным модулем насоса и испытания узла, включающего электродвигатель, входной модуль и муфту насоса. Кроме того, насосный агрегат был протестирован без жидкости (на воздухе). Для проведения этих испытаний была собрана насосная секция, используя новые серийные детали и узлы, которые не подвергались износу.

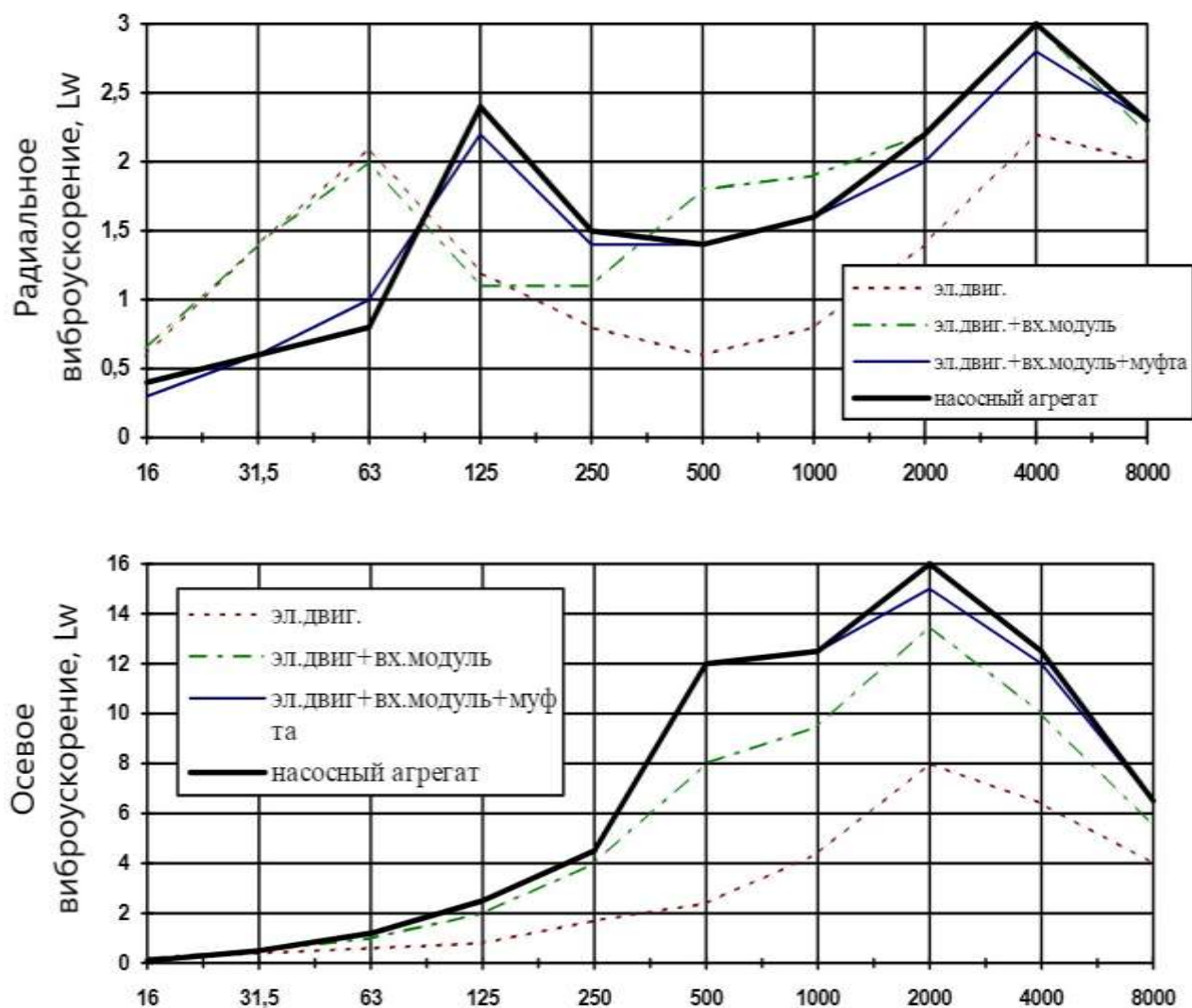


Рисунок 3 – Радиальное и осевое виброускорение насосного агрегата на частотах октавных фильтров

В ходе заключительных испытаний были измерены гидравлические характеристики, энергетические и вибропараметры. Эти данные позволили определить рабочую характеристику агрегата и его вибрационные характеристики.

Выводы. В ходе эксперимента были получены интересные результаты, которые подчеркивают важность селективной сборки для снижения радиального виброускорения. Испытания показали, что при установке серийного входного модуля радиальное виброускорение насосного агрегата увеличилось на 23%. Это говорит о том, что стандартные модули могут не обеспечивать оптимальные условия работы. Однако, установка серийной соединительной муфты валов входного модуля и насосной секции привела к снижению радиального виброускорения на 6,25%. Таким образом, селективная сборка насосных агрегатов оказалась эффективным способом снижения вибрационных нагрузок.

Дополнительные исследования показали, что осевое виброускорение осталось неизменным при использовании серийных модулей и соединительных муфт. Это может объясняться тем, что осевые нагрузки насосного агрегата не зависят от конкретной сборки и

требуют более глубокого анализа. Важно отметить, что результаты эксперимента подтверждают необходимость селективной сборки насосных агрегатов.

При испытании на воде и нулевой подаче насоса наблюдается уменьшение общего уровня виброускорения (в радиальном направлении – на 23,3, в осевом направлении – на 52,8 %).

В заключение отметим, что исследование, проведенное на испытательном стенде, включало в себя серию измерений для оценки его вибрационных характеристик. Результаты экспериментальных данных показали влияние различных компонентов сборки, таких как входной модуль и муфта, на уровень вибрации агрегата. Радиальное виброускорение менее восприимчиво к изменению режима работы (разница между полученными значениями менее 10 %). Что сложно сказать о осевом виброускорении. Для него расхождение значений составило более 20 %. Это исследование дает важную информацию для оптимизации процесса сборки насосных агрегатов и повышения их общей производительности и надежности.

Оценка вибрационных характеристик насосных агрегатов необходима для мониторинга состояния и диагностического анализа. Анализируя характеристики вибрации, можно снизить отказы оборудования, ведь раннее обнаружение повышенного уровня вибрации позволяет своевременно принимать меры, сводя к минимуму риск катастрофических отказов оборудования и незапланированных простоев. Придерживаясь высоких стандартов производства и точности сборки, производители могут свести к минимуму уровень вибрации, что продлевает срок службы оборудования и повышает его эффективность.

### Список литературы

1. В.В.Петрухин, В.Ф.Бочарников Стенд для испытания ступеней ЭЦН. Проблемы разработки и эксплуатации нефтяных и газовых месторождений Западной Сибири. Межвузовский сборник научных трудов. – Тюмень: ТюмИИ, 1994 – 120 с.:ил.
2. Петрухин С.В., Михалочкин А.И., Гасанли Э.Р. Установка для испытания ступеней погружных центробежных насосов. Материалы Международной научно-практической конференции молодых исследователей им. Д. И. Менделеева. сборник статей. 2017. С. 78-81.

### References

1. V.V.Petrukhin, V.F.Bocharnikov Stand for testing the stages of the ECP. Problems of development and operation of oil and gas fields in Western Siberia. Interuniversity collection of scientific papers. Tyumen: Tyumii, 1994 – p.120
  2. Petrukhin S.V., Mikhalkin A.I., Hasanli E.R. Installation for testing stages of submersible centrifugal pumps. Materials of the D. I. Mendeleev International Scientific and Practical Conference of Young Researchers. collection of articles. 2017. pp. 78-81.
-



Международный журнал информационных технологий и  
энергоэффективности

Сайт журнала:

<http://www.openaccessscience.ru/index.php/ijcse/>



УДК 621.311.25

## ОБЗОР МЕТОДОВ КРАТКОСРОЧНОГО ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ВЫРАБОТКИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИМИ СТАНЦИЯМИ

<sup>1</sup>Камалова Д.М., Минина Д.К., Леонов Д.Д., Яропуда Н.А., Беляев С.В.  
ФГБОУ ВО "НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ "МЭИ", Москва,  
Россия (111250, г. Москва, Красноказарменная ул., 14, стр.1) e-mail: <sup>1</sup>onelittlebird@mail.ru

Прогнозирование выработки электроэнергии фотоэлектрическими станциями необходимо для управления энергосистемами, обеспечения надежности энергоснабжения и эффективного использования ресурсов энергетических компаний. Прогнозирование генерации электроэнергии требует учета различных факторов, таких как метеорологические условия и географическое расположение панели. Для решения задач прогнозирования существует множество различных алгоритмов, в данном исследовании произведен их обзор и анализ.

Ключевые слова: Солнечная электростанция, методы краткосрочного прогнозирования, алгоритмы машинного обучения.

## REVIEW OF METHODS FOR SHORT-TERM FORECASTING OF PHOTOVOLTAIC POWER GENERATION

<sup>1</sup>Kamalova D.M., Minina D.K., Leonov D.D., Yaropuda N.A., Belyaev S.V.  
"NATIONAL RESEARCH UNIVERSITY "MPEI", Moscow, Russia (111250, Moscow,  
Krasnokazarmennaya st., 14, bld.1) e-mail: <sup>1</sup>onelittlebird@mail.ru

Forecasting the generation of electricity by photovoltaic plants is necessary to manage energy systems, ensure the reliability of energy supply and efficient use of energy companies' resources. Forecasting electricity generation requires taking into account various factors such as meteorological conditions and the geographical location of the panel. There are many different algorithms for solving forecasting problems, and their review and analysis are carried out in this study.

Keywords: Solar power plant, short-term forecasting methods, machine learning algorithms.

Фотоэлектрические батареи — это технология, которая применяется для превращения энергии солнечного света в электрическую энергию. Данная технология становится все более значимой для общества, так как она способствует сокращению зависимости от ископаемых ресурсов и снижению выбросов в атмосферу. Фотоэлектрические батареи, или солнечные панели, используют полупроводниковые материалы, которые преобразуют свет в электричество посредством фотоэлектрического эффекта. При поглощении фотонов поверхностью панели создается разность потенциалов, что приводит к возникновению электрического тока, который может быть использован для питания электрических устройств [1].

Возможность применения солнечных панелей зависит от ряда факторов: интенсивности солнечного излучения, температуры окружающей среды, погоды и географического расположения панели.

Непостоянство возобновляемой генерации создает вызов для современной электроэнергетики. В каждый момент времени в энергосистеме должен соблюдаться баланс генерации и потребления электроэнергии, поэтому подключение солнечных электростанций к электрической сети может приводить к снижению надежности электроснабжения, кроме того, недоотпуск электроэнергии приводит к экономическому ущербу. Таким образом, особую актуальность имеет краткосрочное прогнозирование выработки фотоэлектрическими станциями, как правило, на сутки вперед с почасовой детализацией. Краткосрочные прогнозы необходимы для разработки планов распределения, которые будут использоваться диспетчерскими центрами системного оператора на следующие сутки. Существует также долгосрочное прогнозирование, которое предназначено для оценки технико-экономических показателей солнечных электростанций (СЭС), однако в данной работе эта тема рассматриваться не будет.

В различных странах сетевые компании устанавливают обязательства для солнечных станций относительно прогнозирования их производительности. Например, согласно национальному стандарту Китая GB/T 19964-2012, от СЭС требуется предоставлять прогноз выработки электроэнергии на сутки вперед с 15 минутной детализацией [2]. При этом отказ от прогноза или неточный прогноз (ошибка свыше 10÷15 %) приводят к штрафным санкциям [3]. В России установлены допустимые отклонения фактического производства от почасовых плановых объемов для СЭС в размере 10 % от установленной мощности генерирующего оборудования [4].

Прогнозирование объема электроэнергии, вырабатываемой солнечной электростанцией, по сути является предсказанием количества солнечной радиации, получаемой солнечными панелями. Методы прогнозирования выработки электроэнергии солнечными станциями можно классифицировать следующим образом: физические модели, статистические модели, методы машинного обучения или адаптивные модели и гибридные модели [5]. Гибридные модели комбинируют различные методы для улучшения точности прогнозирования посредством использования преимуществ обеих методологий. Гибридные модели в данной статье рассматриваться не будут. Упомянутые выше методы реализуют два подхода к прогнозированию генерируемой мощности.

Первый подход - физический, он предполагает знание данных о метеорологических условиях, конструкции солнечной станции и характеристиках солнечных батарей. Физический подход может быть применен до ввода в эксплуатацию фотоэлектрической системы, соответственно, методы, основанные на нем, часто применяются для оценки экономической части разрабатываемых проектов СЭС. Методы, основанные на физическом подходе, могут быть более точными и надежными в долгосрочном прогнозировании, но требуют большего количества вычислительных ресурсов и экспертных знаний для разработки и поддержки моделей. Второй подход основан на анализе ретроспективных данных, в частности поиске корреляции между метеорологическими условиями и выходной мощностью СЭС. Данный подход включает использование исторической информации для настройки коэффициентов моделей, которые затем применяются для прогнозирования, поэтому необходимо иметь качественную выборку, снятую в процессе эксплуатации конкретной фотоэлектрической системы. Анализ энергетических данных проводится в три этапа. Сначала производится предварительная обработка входных данных, потом разрабатывается алгоритм



и производится моделирование, а затем оценивается качество работы модели с помощью метрик. Сильно коррелированные входные переменные (например, солнечное излучение сильно коррелирует с выходной мощностью) следует использовать в качестве входных векторов для модели прогнозирования, в то время как слабо коррелированные переменные могут быть отброшены [6]. Затем исторические данные подлежат предварительной обработке, чтобы исключить из выборки аномальные всплески, которые могут существенно исказить прогноз.

Методы, основанные на физическом подходе, используют математические уравнения и физические принципы для моделирования процессов, влияющих на выработку энергии. Эти модели учитывают: интенсивность солнечного излучения, угол падения солнечных лучей, облачность и погодные условия, температуру окружающей среды.

Далее будут подробнее рассмотрены модели, которые основаны на анализе ретроспективных данных, то есть на втором подходе.

Статистические модели основаны на анализе исторических данных и выявлении статистических закономерностей, они используют вероятностные и эмпирические методы для прогнозирования. Данные модели могут использоваться без глубокого понимания физических процессов. Статистические модели наиболее широко применяются для средне- и долгосрочного процессов прогнозирования [7]. Точность предсказания таких моделей зависит от качества и объема данных и может быть снижена при резких изменениях условий, которые не учтены в данных. Ниже приведено основное описание широко применяемых статистических методов.

Метод ARIMA (AutoRegressive Integrated Moving Average) является одним из популярных методов временных рядов, используемых для прогнозирования временных данных, таких как генерация электроэнергии солнечными электростанциями. Модель ARIMA может быть описана как "фильтр", который стремится разделить сигнал и шум, после чего экстраполирует сигнал на будущее для получения прогнозных данных. Уравнение прогнозирования ARIMA представляет собой линейное уравнение, в котором предикторы включают лаги зависимой переменной и/или лаги ошибок прогноза. Это означает, что прогнозируемое значение  $Y$  является константой и/или взвешенной суммой одного или нескольких предыдущих значений  $Y$  и/или взвешенной суммой одного или нескольких предыдущих значений ошибок [8].

Метод сезонного авторегрессионного интегрированного скользящего среднего (SARIMA) расширяет модель ARIMA, добавляя сезонные компоненты для учета регулярных сезонных вариаций в данных.

Обыкновенные наименьшие квадраты (OLS). Этот метод анализирует систему путем установления линейных отношений между одной или несколькими входными переменными и минимизации суммы квадратов ошибок непрерывной или, по крайней мере, интервальной итоговой переменной (фактические и прогнозируемые значения).

Методы машинного обучения (МО) строят модели на основе больших объемов данных и могут выявлять сложные зависимости в них. Методы машинного обучения, являясь более продвинутыми, обеспечивают более высокую точность прогнозирования, однако, в большинстве случаев, они требуют значительных вычислительных ресурсов. Примеры методов машинного обучения, применяемых для прогнозирования выработки

фотоэлектрических станций: линейная регрессия, метод k-ближайших соседей (k-NN), искусственные нейронные сети (ANN), метод опорных векторов (SVM), случайные леса (RF) и градиентный бустинг (GB) [9]. Рассмотрим подробнее каждый из приведенных методов.

Линейная регрессия - это метод, который используется для анализа отношений между независимыми переменными (факторами) и зависимой переменной (целевой переменной). Таким образом, цель линейной регрессии – нахождение линейной функции, которая наилучшим образом описывает отношение между переменными. При прогнозировании линейная регрессия определяет, как величины входных факторов влияют на выходную мощность станции, но, соответственно, данный метод имеет свои ограничения и может быть неточным, особенно если отношения между переменными нелинейные или если имеется сложная взаимосвязь между факторами.

Метод k-ближайших соседей (k-NN k nearest neighbour) является одним из наиболее простых методов машинного обучения. Алгоритм k-NN измеряет евклидовы расстояния между текущим состоянием и обучающими выборками в пространстве признаков, чтобы выбрать «k» ближайших соседей, которые затем используются для прогнозирования. Детальное описание и применение данного метода для прогнозирования мощности фотоэлектрических станций можно найти в [10].

Искусственные нейронные сети (artificial neural network, ANN) - это алгоритм, вдохновленный биологическими нейронными сетями, который включает нейроны (математические элементы) и веса (связи между этими элементами). ANN обучаются решению конкретных задач (например, прогнозированию) с использованием методов оптимизации на основе градиента, которые настраивают «веса». Метод широко применяется для прогнозирования мощности фотоэлектрических станций [9].

Метод опорных векторов (Support Vector Machine, SVM) используется для задач классификации и регрессии. Основная идея SVM заключается в поиске оптимальной гиперплоскости, которая разделяет данные на две категории. Эта гиперплоскость максимизирует зазор (маржу) между двумя классами, что помогает улучшить общую точность модели и ее способность к обобщению. В работе [10] данный метод представлен и использован для краткосрочного прогнозирования мощности фотоэлектрических станций.

Случайные леса (RF) — это ансамблевый метод обучения, используемый для задач классификации, регрессии и других. Он строит множество деревьев решений, результаты которых затем объединяются для получения финального прогноза или классификации, так как совокупность моделей может компенсировать ошибки отдельных моделей и таким образом предоставить более точные и устойчивые предсказания. Для задач классификации итоговый результат случайного леса определяется большинством голосов деревьев. В задачах регрессии возвращается среднее значение прогнозов всех деревьев. Случайные леса устраняют склонность деревьев решений к переобучению на обучающем наборе. Обычно они показывают лучшие результаты по сравнению с деревьями решений, хотя их точность может быть ниже, чем у деревьев с градиентным усилением. Однако характеристики данных могут повлиять на производительность метода. Исследования [11] показывают высокую эффективность случайных лесов для прогнозирования выработки электроэнергии фотоэлектрическими станциями.

Градиентный бустинг (GB) – это метод машинного обучения, используемый для задач регрессии и классификации, который формирует предсказательную модель в виде ансамбля слабых моделей. Этот метод работает поэтапно, совершенствуя модель и позволяя оптимизировать произвольную дифференцируемую функцию потерь. Градиентный бустинг объединяет слабые модели в одну сильную путем итеративного добавления новой модели, что позволяет улучшить точность предсказаний. Новые слабые модели максимально коррелируют с отрицательным градиентом функции потерь всего ансамбля. Основная идея градиентного бустинга заключается в объединении нескольких слабых предсказательных моделей для создания более мощной. В исследовании [12] метод был представлен и применен для прогнозирования мощности фотоэлектрических батарей.

Согласно сравнению, проведенному в [12], методы машинного обучения опережают статистические методы как по скорости, так и по эффективности в прогнозировании (Таблица 1).

Таблица 1 – Сравнение статистических методов и методов машинного обучения

Метод	Время выполнения, сек.	Среднеквадратическое отклонение (RMSE)
ARIMA	86,613	17,27
SARIMA	159,188	14,43
Линейная регрессия	0,007	10,91
Случайный лес	1,59	10,61
Градиентный бустинг	1,59	10,24

Очевидно, что методы машинного обучения показывают наилучшие результаты при прогнозировании выработки электроэнергии солнечными панелями. Это обусловлено рядом причин:

- возможность использования обширного объема данных для обучения модели: погода, время суток, географическое положение и т.д. Таким образом, прогноз становится более точным.
- большая вариативность алгоритмов, каждый из которых имеет свои преимущества и недостатки. Выбор конкретного алгоритма зависит от характеристик данных и задачи прогнозирования. Таким образом, для каждой задачи прогнозирования можно подобрать наиболее подходящий алгоритм.
- актуализация модели по мере поступления новых данных. При прогнозировании необходимо учитывать изменения в погодных условиях, времени суток и прочих факторах. С помощью МО можно периодически обновлять модель на основе новых данных для получения более точного прогноза.
- автоматизация процесса прогнозирования. Это позволяет сократить временные затраты и повысить точность прогнозирования.

Таким образом, в статье был произведен обзор методов краткосрочного прогнозирования генерации электроэнергии фотоэлектрических станций, и был сделан вывод, что методы машинного обучения наилучшим образом подходят для подобных задач прогнозирования в силу возможности использовать большое количество данных, различные

алгоритмы прогнозирования, возможность обновления модели и автоматизации процесса прогнозирования..

### Список литературы

1. Риполь- Сарагоси Т.Л. Кууск А.Б., Возобновляемые и нетрадиционные источники энергии. Учебно-методическое пособие. Ростов н/Д: Рост. гос. ун-т. путей сообщения, 2019. – 122 с.
2. Antonanzas, J., Osorio, N., Escobar, R., Urraca, R., Martinez-de-Pison, F. J., & Antonanzas-Torres, F. (2016). Review of photovoltaic power forecasting. *Solar Energy*, 136, 78–111. DOI: 10.1016/J.SOLENER.2016.06.069.
3. Reindl T., Walsh W., Yanqin Z., Bieri M. Energy meteorology for accurate forecasting of PV power output on different time horizons. *Energy Procedia*, 2017;130:130–138.
4. Постановление Правительства РФ от 27 декабря 2010 г. № 1172 «Об утверждении Правил оптового рынка электрической энергии и мощности и о внесении изменений в некоторые акты Правительства Российской Федерации по вопросам организации функционирования оптового рынка электрической энергии и мощности» (с изменениями и дополнениями) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_112537/688169748ff81438157cd1f4aa5027d29ff1053d/](https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_112537/688169748ff81438157cd1f4aa5027d29ff1053d/). – (Дата обращения: 11.05.2024.).
5. Методы краткосрочного прогнозирования выработки электрической энергии солнечными электростанциями и их классификация / Д. А. Тюньков, А. А. Сапилова, А. С. Грицай [и др.] // *Электротехнические системы и комплексы*. – 2020. – № 3(48). – С. 4-10. – DOI 10.18503/2311-8318-2020-3(48)-4-10. – EDN NBEEZZ.
6. Iheanetu, Kelachukwu. Solar Photovoltaic Power Forecasting: A Review. *Sustainability*. 14. 17005. 10.3390/su142417005.
7. Кивчун Олег Романович Метод векторного рангового анализа при управлении электропотреблением объектов военной инфраструктуры // *Известия ТулГУ. Технические науки*. 2018. №11.
8. Pasari S, Shah A, Time Series Auto-Regressive Integrated Moving Average Model for Renewable Energy Forecasting. In: Sangwan K., Herrmann C. (eds) *Enhancing Future Skills and Entrepreneurship. Sustainable Production, Life Cycle Engineering and Management*: Springer; 2020. p.71–77. DOI: 10.1007/978-3-030- 44248-47.
9. Spyros Theocharides, George Makrides, Andreas Livera, Marios Theristis, Paris Kaimakis, George E. Georghiou, Day-ahead photovoltaic power production forecasting methodology based on machine learning and statistical post-processing, *Applied Energy*, 2020; V 268, 115023, DOI: 10.1016/j.apenergy.2020.115023.
10. Fei Wang, Zhao Zhen, Bo Wang, and Zengqiang, Comparative Study on KNN and SVM Based Weather Classification Models for Day Ahead Short Term Solar PV Power Forecasting, *applied science*, 2018, 8, 28; DOI: 10.3390/app8010028.
11. Huertas Tato, J.; Centeno Brito, M. Using Smart Persistence and Random Forests to Predict Photovoltaic Energy Production. *Energies* 2019, 12, 100. DOI:10.3390/en12010100.

12. Julian Ascencio-Vasquez, Jakob Bevc, Kristijan Reba, Kristijan Brecl, Marko Jankovec and Marko Topic, Advanced PV Performance Modelling Based on Different Levels of Irradiance Data Accuracy, *Energies* 2020, 13(9), 2166; DIO, 10.3390/en13092166.

## References

1. Ripoll-Saragosi T.L. Kuusk A.B., Renewable and non-traditional energy sources. Educational and methodical manual. Rostov n/A: Rostov State University. ways of communication, 2019. – p.122
2. Antonanzas, J., Osorio, N., Escobar, R., Urraca, R., Martinez-de-Pison, F. J., & Antonanzas-Torres, F. (2016). Review of photovoltaic power forecasting. *Solar Energy*, 136, 78–111. DOI: 10.1016/J.SOLENER.2016.06.069.
3. Reindl T., Walsh W., Yanqin Z., Bieri M. Energy meteorology for accurate forecasting of PV power output on different time horizons. *Energy Procedia*, 2017;130:130–138.
4. Resolution of the Government of the Russian Federation dated December 27, 2010 No. 1172 "On approval of the Rules of the wholesale market of electric energy and capacity and on Amendments to Certain Acts of the Government of the Russian Federation on the organization of the functioning of the wholesale market of electric energy and capacity" (with amendments and additions) [Electronic resource]. – Access mode: [https://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_112537/688169748ff81438157cd1f4aa5027d29ff1053d/](https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_112537/688169748ff81438157cd1f4aa5027d29ff1053d/). – (Date of application: 05/11/2024.).
5. Methods of short-term forecasting of electric power generation by solar power plants and their classification / D. A. Tyunkov, A. A. Sapilova, A. S. Gritsai [et al.] // *Electrotechnical systems and complexes*. – 2020. – № 3(48). – Pp. 4-10. – DOI 10.18503/2311-8318-2020-3(48)-4-10. – EDN NBEEZZ.
6. Iheanetu, Kelachukwu. Solar Photovoltaic Power Forecasting: A Review. *Sustainability*. 14. 17005. 10.3390/su142417005.
7. Kivchun Oleg Romanovich The method of vector rank analysis in the management of power consumption of military infrastructure facilities // *Izvestiya TlSU. Technical sciences*. 2018. №11.
8. Pasari S, Shah A, Time Series Auto-Regressive Integrated Moving Average Model for Renewable Energy Forecasting. In: Sangwan K., Herrmann C. (eds) *Enhancing Future Skills and Entrepreneurship. Sustainable Production, Life Cycle Engineering and Management*: Springer; 2020. p.71–77. DOI: 10.1007/978-3-030- 44248-47.
9. Spyros Theocharides, George Makrides, Andreas Livera, Marios Theristis, Paris Kaimakis, George E. Georghiou, Day-ahead photovoltaic power production forecasting methodology based on machine learning and statistical post-processing, *Applied Energy*, 2020; V 268, 115023, DOI: 10.1016/j.apenergy.2020.115023.
10. Fei Wang, Zhao Zhen, Bo Wang, and Zengqiang, Comparative Study on KNN and SVM Based Weather Classification Models for Day Ahead Short Term Solar PV Power Forecasting, *applied science*, 2018, 8, 28; DOI: 10.3390/app8010028.
11. Huertas Tato, J.; Centeno Brito, M. Using Smart Persistence and Random Forests to Predict Photovoltaic Energy Production. *Energies* 2019, 12, 100. DOI:10.3390/en12010100.

12. Julian Ascencio-Vasquez, Jakob Bevc, Kristjan Reba, Kristijan Brecl, Marko Jankovec and Marko Topic, Advanced PV Performance Modelling Based on Different Levels of Irradiance Data Accuracy, *Energies* 2020, 13(9), 2166; DIO, 10.3390/en13092166.
-



Международный журнал информационных технологий и  
энергоэффективности

Сайт журнала:

<http://www.openaccessscience.ru/index.php/ijcse/>



УДК 621.316.542

## ОБЗОР СУЩЕСТВУЮЩИХ СИСТЕМ МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ

**Мясников С.О., Купцов Д.В., Титков Н.А., Селезнев И.А., Минина Д.К.**

*ФГБОУ ВО "Национальный исследовательский университет "МЭИ", Москва, Россия (111250, г. Москва, Красноказарменная ул., 14, стр.1) e-mail: <sup>1</sup>onelittlebird@mail.ru*

**В данном исследовании произведен обзор существующих отечественных и зарубежных программно-аппаратных комплексов для мониторинга и диагностики автоматических силовых выключателей.**

**Ключевые слова:** высоковольтный выключатель, коммутация, система мониторинга, программно-аппаратный комплекс.

## OVERVIEW OF EXISTING MONITORING SYSTEMS FOR HIGH-VOLTAGE CIRCUIT BREAKERS

**Myasnikov S.O., Kuptsov D.V., Titkov N.A., Seleznev I.A., Minina D.K.**

*ФГБОУ ВО "Национальный исследовательский университет "МЭИ", Москва, Россия (111250, г. Москва, Красноказарменная ул., 14, стр.1), e-mail: <sup>1</sup>onelittlebird@mail.ru*

**This study provides an overview of existing national and foreign hardware and software systems for monitoring and diagnostics of automatic circuit breakers.**

**Keywords:** high-voltage circuit breaker, switching, monitoring system, hardware and software complex.

Высоковольтные автоматические выключатели играют ключевую роль в энергосистемах, они предназначены для включения и выключения электроустановок и устройств высокого напряжения в нормальных режимах, а также для автоматического отключения электрических цепей при токах перегрузки и короткого замыкания. Основным свойством выключателя является надежность его работы, в том числе после длительного периода бездействия [1].

Ключевыми функциями высоковольтных автоматических выключателей являются: отключение рабочих токов, оперативное переключение для изменения схемы электрической сети, отключение тока короткого замыкания, обеспечение безопасности в обоих положениях – открытом и закрытом. Кроме основных функций, высоковольтные автоматические выключатели должны соответствовать следующим физическим требованиям: обеспечивать хорошую проводимость в закрытом положении и надежную изоляцию в открытом положении; быстро переключаться из закрытого состояния в открытое, не быть подверженными возникновению перенапряжений во время переключений, обладать высокой надежностью в эксплуатации.

Подробная информация о функциях высоковольтных выключателей и требованиях к ним в специфических условиях доступна в источниках [2], [3]. Основные компоненты

высоковольтных выключателей можно классифицировать на пять групп в соответствии с их функциями [4]:

**Изоляция.** Электрическая изоляция высоковольтных выключателей достигается использованием комбинации газообразных, жидких и твердых диэлектрических материалов. Любое нарушение изоляции может привести к серьезным повреждениям, таким как межфазный пробой, заземление или размыкание полюсов, что потребует капитального ремонта или замены оборудования. Для предотвращения таких отказов необходимо поддерживать и контролировать изоляцию. Например, нужно постоянно следить за количеством изоляционной среды, периодически проверять качество изоляции с помощью диагностических методов, а также контролировать изоляционное расстояние при помощи датчиков положения и визуального осмотра.

**Токопроводящие части.** Токоведущие части играют ключевую роль, обеспечивая протекание тока в закрытом положении выключателя. Их отказ может привести к серьезным последствиям, таким как контактная сварка и значительное повреждение системы изоляции. Тем не менее, процесс деградации контактов до критического состояния обычно занимает несколько лет. На практике большинство проблем с контактами можно предотвратить с помощью регулярного диагностического тестирования. Методы проверки токоведущих частей включают контроль или диагностические испытания контактного сопротивления, температуры контактов, тока нагрузки и содержания газового разложения.

**Компоненты для переключений.** В ходе эксплуатации высоковольтные выключатели подвергаются различным электрическим, термическим и механическим нагрузкам. Необходимо, чтобы они могли эффективно включать и отключать большие объемы энергии без отказов. Параметры, которые применяются для контроля и диагностики их работы, включают в себя положение первичных контактов, характеристики хода контактов, время срабатывания, расхождение полюсов по времени срабатывания, продолжительность дугообразования и износ дугогасительных контактов. Среди этих параметров характеристики перемещения контактов являются наиболее часто используемыми при регулярных испытаниях для оценки их состояния.

**Рабочий механизм.** Механизм привода – это часть, которая используется для перемещения контактов между открытым и закрытым положениями. Отказы этого механизма составляют значительную долю всех неисправностей высоковольтных выключателей. Например, утечки масла и газа в гидравлических и пневматических системах довольно часты, но их можно устранить без остановки системы. Однако поломки валов, штоков и пружин могут привести к серьезным сбоям, нарушающим работу системы.

**Управление и вспомогательные функции.** Они представляют собой элементы, работающие под напряжением 110–220 В постоянного тока: электрические цепи и защелки или клапаны. По данным исследований надежности, управляющие и вспомогательные части часто подвержены отказам. К типичным отказам относятся невозможность закрытия или открытия по команде, а также задержки в работе. Параметры, связанные с системами управления и вспомогательными системами, включают ток катушки, напряжение, состояние вспомогательных переключателей, целостность цепи и условия внутри шкафа управления, и все это необходимо контролировать.



Для эффективной и надежной работы энергосистемы необходимо контролировать физический износ оборудования, в том числе износ выключателей. Контроль осуществляется посредством системы диагностики выключателей. Далее будут определены основные требования к системам мониторинга выключателей.

Главная задача системы диагностики выключателей заключается в оценке способности контролируемого коммутационного устройства выполнить следующий цикл включения/отключения при самых неблагоприятных и критических условиях. Согласно стандартным техническим требованиям, коммутации должны быть выполнены контролируемым выключателем в любых условиях, указанных для данного устройства в технической документации.

Для реализации основной функции системы мониторинга выключателя необходимо оперативно проводить диагностику состояния его трех подсистем. Во-первых, определять остаточный технический ресурс главных контактов выключателя, который должен быть достаточным для отключения максимальных токов короткого замыкания. Во-вторых, оценивать техническое состояние привода выключателя, ресурс которого должен обеспечивать завершение любой коммутационной операции. В-третьих, контролировать состояние системы изоляции выключателя, которая должна надежно работать в условиях импульсных перенапряжений и соответствовать всем требованиям при нахождении под напряжением. Для каждой подсистемы необходимо рассмотреть особенности ее мониторинга.

#### Мониторинг остаточного коммутационного ресурса главных контактов

Основные контакты выключателя постоянно находятся под напряжением в процессе эксплуатации, поэтому оценку их коммутационного ресурса в режиме мониторинга можно проводить лишь косвенными методами. Однако таких методов существует не так много, и их использование по отдельности недостаточно для вынесения точного диагностического заключения.

В методах диагностики в режиме «On-Line» используются несколько подходов. Один из них - контроль коммутационного ресурса, который определяется через измерение отключенной фазы мощности короткого замыкания. Однако этот метод не учитывает реальное техническое состояние контактов, предоставляя лишь общую оценку. Другой метод основан на анализе состояния главных контактов по различным параметрам, таким как протекающий ток, время и тип замыкания и размыкания, а также анализе кривых тока через контакты. Также используется контроль времени горения дуги при выключении и выбросов сигналов от датчиков, смонтированных на баке выключателя. Для выявления частичных разрядов, импульсных токов и перенапряжений применяются специальные датчики, а для выключателей с вакуумным или воздушным изолятором - антенна для обнаружения электромагнитного излучения дуги.

Таким образом, для получения комплексной оценки состояния выключателя в части его системы контактов необходимо использовать несколько методов.

#### Мониторинг состояния привода выключателя

Выключатели могут быть оборудованы приводами самых разных конструкций. Эти приводы могут быть электромагнитными, воздушными или электромеханическими. Надежная работа всего коммутационного устройства в первую очередь зависит от состояния привода.

Это касается возможности включения и отключения главных и вспомогательных контактов с заданными динамическими и скоростными характеристиками.

Оценка состояния привода включает несколько методов. Один из них заключается в контроле скоростных параметров работы привода, для чего на его элемент устанавливаются угловой и линейный датчики, позволяющие оценить динамические характеристики. Тип датчика выбирается в зависимости от типа привода. Другой метод предполагает контроль вибрации, возникающей во время работы привода, с использованием вибрационного датчика, который анализирует форму зарегистрированных вибрационных сигналов, что позволяет косвенно оценивать техническое состояние всех конструктивных элементов коммутационного аппарата. Также используется контроль кривой тока управления выключателем, которая показывает характерные точки изменения состояния привода, что позволяет определить его скоростные параметры.

Теоретически, каждый из этих методов может быть достаточно эффективным для оценки остаточного ресурса механической части выключателя. Однако, применение двух и более методов значительно увеличивает точность диагностики.

Мониторинг технического состояния изоляции выключателя

Силовые выключатели, как и любое высоковольтное оборудование, требуют периодического или даже непрерывного контроля состояния изоляции. Поэтому система мониторинга выключателя обязательно должна включать механизм оперативного контроля изоляции. Эта часть системы мониторинга может отличаться в зависимости от типа выключателя, поскольку изолирующие среды у разных типов коммутационного оборудования различаются. Например, в качестве изолирующих сред могут использоваться изолирующее масло, элегаз (SF<sub>6</sub>), воздушная среда или вакуум.

Единым параметром, подходящим для контроля изоляции различных выключателей, является регистрация и анализ распределения частичных разрядов в их изоляции. Такой подход к диагностике состояния изоляции применим для любого типа выключателей, поскольку он оценивает не первичные параметры используемой изоляционной системы (такие как температура, влага и давление), а общий результат и эффективность ее работы. Наличие или отсутствие частичных разрядов в изоляционной системе непосредственно указывает на то, справляется ли изоляция со своей основной функцией.

Вид используемых первичных датчиков частичных разрядов меняется в соответствии с типом изоляционной системы. Эти изменения касаются рабочих частотных диапазонов, параметров регистрирующей аппаратуры, мест их установки и необходимого количества датчиков. Тем не менее, сама процедура диагностики изоляции практически не изменяется.

Итак, были рассмотрены основные методы мониторинга трех подсистем автоматических выключателей. Далее будут рассмотрены существующие на данный момент программно-аппаратные комплексы (ПАК) для осуществления диагностики выключателей и задачи, которые они выполняют.

Программно-аппаратный комплекс «SG-DM»

Система «SG-DM» от компании «Димрус» подходит для диагностики состояния ячеек КРУ, работающих при напряжении 6 кВ и выше, подключенных к одной системе шин. В случае необходимости мониторинга КРУ с несколькими системами шин, следует использовать отдельное устройство «SG-DM» для каждой из них. Система мониторинга «SG-

DM» представляет собой комплексное решение, позволяющее контролировать техническое состояние различных типов высоковольтного оборудования, объединенных в одном объекте.

В «SG-DM» реализованы следующие параметры и методы диагностики КРУ: определение остаточного коммутационного ресурса фидерного, секционного и распределительных ячеек секции КРУ (до 12-ти штук) на основе фиксации суммарной мощности, отключенной выключателем; определение технического состояния элементов механического привода контролируемых выключателей (до 14-ти штук) на основании анализа кривой изменения тока управления при включении и отключении каждого выключателя [5].

Программно-аппаратный комплекс приборов от компании «Siemens»

Анализатор износа контактов «SiCEA01» применяется для определения степени износа контактов выключателей, основываясь на значениях токов отключения. Для анализа коммутаций токов, ниже номинального, используется номинальный ток. Износ контактов вычисляется на основании отключаемых токов силового выключателя, и полученные данные сравниваются с контрольными параметрами. Если результат сравнения превышает установленные значения для подачи сигнала предупреждения или тревоги, активируется соответствующий сигнальный контакт, а сигнальная лампа на анализаторе отображает текущее состояние. Таким образом, анализатор «SiCEA01» предупреждает о том, что контактная система выключателя изношена до определенной степени.

Система мониторинга «SOLM01» предназначена для контроля состояния силового выключателя с использованием сенсорной техники. «SOLM01» регистрирует события, измеряет мгновенные значения и внешние параметры, а также сравнивает результаты с контрольными значениями. Система автоматически информирует сервисную службу о выявленных отклонениях и признаках износа. «SOLM01» оптимизирует обслуживание за счет принятия корректирующих и профилактических мер. Все измеренные данные собираются и хранятся на сервере «Oracle» [6].

Программно-аппаратный комплекс «CB Watch 3»

Автоматизированная система мониторинга высоковольтных выключателей «CB Watch 3» от компании «General Electric» — это модульное решение для онлайн-мониторинга, совместимое с большинством высоковольтных выключателей. Благодаря модульному дизайну устройство может быть настроено для выполнения различных функций мониторинга в зависимости от потребностей, от простого контроля газа до полного мониторинга для критически важных выключателей. «CB Watch 3» собирает данные с помощью бесконтактных датчиков и контролирует ключевые диагностические параметры, некоторые из которых регистрируются при каждой операции с выключателем, а другие — постоянно. Система отслеживает значительные изменения в работе и анализирует выключатель, оценивая риск для различных контролируемых функций по шкале от 1 до 5 [7].

Программно-аппаратный комплекс «QBCM»

Система мониторинга автоматического выключателя «QBCM» от компании «Qualitrol» предназначена для контроля силовых выключателей, она фиксирует все необходимые параметры для точного мониторинга их общего состояния и производительности. Эта система измеряет время замыкания/размыкания вспомогательных контактов - время дребезга вспомогательных контактов, количество коммутаций выключателя, плотность и скорость

утечки элегаза, годовую утечку элегаза, а также рассчитывает энергию возникающей дуги (интеграл Джоуля) [8].

Таким образом, ПАК «SG-DM» обеспечивает комплексный контроль состояния различных типов оборудования, включая ячейки КРУ и механические приводы выключателей. Система «Siemens» с устройствами «SiCEA01» и «SOLM01» предлагает специализированные решения для конкретных аспектов мониторинга, обеспечивая точность и надежность в своих нишах. ПАК «CB Watch 3» от «General Electric» предоставляет гибкое и адаптируемое решение, которое может быть настроено для различных уровней мониторинга в зависимости от потребностей пользователя. ПАК «QBCM» предлагает подробный мониторинг ключевых параметров силовых выключателей, включая время операций, утечки и энергию дуги.

Выбор между рассмотренными системами зависит от конкретных потребностей и типа оборудования, которое требуется диагностировать. Из всего разнообразия выделить стоит ПАК «SG-DM» от компании «Димрус», российского производителя. Электроэнергетика является стратегической отраслью, от которой зависит работа других отраслей, соответственно, риски, связанные с иностранным влиянием, должны быть сведены к минимуму.

### Список литературы

1. Портал «Большая российская энциклопедия» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://bigenc.ru/c/vysokovol-tnyi-vykliuchatel-81f961> (дата обращения: 15.05.2024).
2. Справочник по проектированию электроэнергетических систем / В.В. Ершевич, А.Н. Зейлингер, Г.А. Илларионов и др.; под ред. С.С. Рокотяна и И.М. Шапиро. - 3-е изд., перераб. и доп. - М.: Энергоатомиздат, 1985. - 352 с.
3. Розанов М.Н. Надежность электроэнергетических систем. - М.: «Энергия», 1974.-176 с.
4. А. А. Васильев, И. П. Крючков, Е. Ф. Наяшкова, М. Н. Околович Электрическая часть электростанций и подстанций: Учеб. для вузов.- 2-е изд, перераб. и доп. -М.: Энергоатомиздат, 1990. - 576 с.
5. «"SG-DM" — система мониторинга и диагностики состояния КРУ и отходящих кабельных линий» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://dimrus.ru/manuals/sgdm.pdf> (дата обращения: 16.05.2024).
6. «Высоковольтные силовые выключатели» [Электронный ресурс]. Режим доступа: [https://www.com-sol.ru/avt\\_viklyuchateli/catalogs/si/hv\\_silovie\\_viklyuchateli.pdf](https://www.com-sol.ru/avt_viklyuchateli/catalogs/si/hv_silovie_viklyuchateli.pdf) (дата обращения: 17.05.2024).
7. «Система мониторинга CB Watch 3» [Электронный ресурс]. Режим доступа: [https://www.pergam.ru/catalog/electrical\\_equipment/electrical\\_diagnosis/diagnostika-vikluchateley/cb-watch-3.htm](https://www.pergam.ru/catalog/electrical_equipment/electrical_diagnosis/diagnostika-vikluchateley/cb-watch-3.htm) (дата обращения: 17.05.2024).
8. «QBCM Circuit Breaker Monitor» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.qualitrolcorp.com/products/circuit-breaker-monitoring/qbcm-circuit-breaker-monitor/> (дата обращения: 19.05.2024).

### References

1. The portal "The Great Russian Encyclopedia" [Electronic resource]. Access mode: <https://bigenc.ru/c/vysokovol-tnyi-vykliuchatel-81f961> (date of reference: 05/15/2024).

2. Handbook on the design of electric power systems / V.V. Yershevich, A.N. Zeilinger, G.A. Illarionov, etc.; edited by S.S. Rokotyan and I.M. Shapiro. - 3rd ed., reprint. and additional - M.: Energoatomizdat, 1985. - 352 p.
  3. Rozanov M.N. Reliability of electric power systems. - M.: Energiya, 1974.-176 p.
  4. A. A. Vasiliev, I. P. Kryuchkov, E. F. Nayashkova, M. N. Okolovich The electric part of power plants and substations: Studies for universities.- 2nd ed., reprint. and additional. -M.: Energoatom- izdat, 1990. - 576 p
  5. "SG-DM" — a system for monitoring and diagnosing the condition of switchgear and outgoing cable lines" [Electronic resource]. Access mode: <https://dimrus.ru/manuals/sgdm.pdf> (date of reference: 05/16/2024).
  6. "High-voltage power switches" [Electronic resource]. Access mode: [https://www.comsol.ru/avt\\_viklyuchateli/catalogs/si/hv\\_silovie\\_viklyuchateli.pdf](https://www.comsol.ru/avt_viklyuchateli/catalogs/si/hv_silovie_viklyuchateli.pdf) (date of application: 05/17/2024).
  7. "CB Watch 3 monitoring system" [Electronic resource]. Access mode: [https://www.pergam.ru/catalog/electrical\\_equipment/electrical\\_diagnosis/diagnostika-vikluchateley/cb-watch-3.htm](https://www.pergam.ru/catalog/electrical_equipment/electrical_diagnosis/diagnostika-vikluchateley/cb-watch-3.htm) (date of access: 05/17/2024).
  8. "QBCM Circuit Breaker Monitor" [Electronic resource]. Access mode: <https://www.qualitrolcorp.com/products/circuit-breaker-monitoring/qbcm-circuit-breaker-monitor/> (date of access: 05/19/2024)
-